

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

На правах рукописи



Пышкина Ирина Сергеевна

**Модифицированная известковая сухая строительная смесь
для реставрации и отделки зданий**

Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук,
профессор

Логанина Валентина Ивановна



Пенза – 2016

Оглавление

| | |
|---|----|
| Введение..... | 4 |
| Глава 1. Состояние вопроса и задачи исследования | 9 |
| 1.1 Тенденции развития производства сухих строительных смесей | 9 |
| 1.2 Модифицирующие добавки для известковых строительных смесей на основе силикатов кальция..... | 17 |
| 1.3 Цели и задачи исследования | 25 |
| Глава 2. Характеристика материалов. Методика проведения исследований | 26 |
| 2.1 Характеристика материалов..... | 26 |
| 2.2 Методика оценки реологических и технологических свойств известковых отделочных составов..... | 33 |
| 2.3 Методика оценки физико-механических свойств ССС и покрытий на основе известкового отделочного состава | 34 |
| 2.4 Методика оценки гидрофизических свойств покрытий на основе отделочных составов | 37 |
| 2.5 Прочие методы исследований..... | 39 |
| 2.6 Статистическая обработка результатов испытаний | 44 |
| Глава 3. Структура и свойства добавки на основе гидросиликатов кальция для сухих строительных смесей | 46 |
| 3.1 Разработка технологии синтеза добавки на основе гидросиликатов кальция для сухих строительных смесей | 46 |
| 3.2 Свойства добавки на основе гидросиликатов кальция..... | 57 |
| Выводы к главе 3..... | 65 |
| Глава 4. Разработка рецептуры отделочной известковой смеси с применением добавок на основе гидросиликатов кальция | 67 |

| | |
|--|-----|
| 4.1 Структурообразование известковых композиций в присутствии добавок на основе гидросиликатов кальция | 67 |
| 4.2 Подбор гранулометрического состава мелкого заполнителя для сухих строительных смесей | 78 |
| 4.3 Закономерности изменения технологических и реологических свойств известковых составов с добавкой на основе ГСК | 81 |
| 4.4 Закономерности твердения известковых образцов с применением добавок на основе ГСК..... | 90 |
| Выводы к главе 4..... | 92 |
| Глава 5. Эксплуатационная стойкость отделочного слоя на основе сухой строительной смеси | 94 |
| 5.1 Гидрофизические свойства покрытий на основе отделочных составов..... | 94 |
| 5.2 Трещиностойкость защитно-декоративных покрытий | 101 |
| 5.3 Прочность сцепления покрытия с применением синтезированных гидросиликатов с подложкой..... | 108 |
| 5.4 Оценка морозостойкости отделочного состава..... | 110 |
| 5.5 Влияние пигментов на свойства покрытий на основе отделочного состава..... | 112 |
| 5.6 Опытно-производственное опробование. Разработка нормативных документов..... | 114 |
| Выводы к главе 5..... | 119 |
| Заключение | 120 |
| Список литературы | 124 |
| Приложения | 138 |

Введение

Актуальность избранной темы. Для реставрации и отделки стен зданий и сооружений находят применение известковые составы, в том числе сухие строительные смеси. Для повышения стойкости известковых покрытий в рецептуру вводят специальные модифицирующие добавки, поступающие из-за рубежа, что удорожает производство сухих строительных смесей и делает его зависимым от импортных поставок. Одним из вариантов снижения стоимости известковых сухих строительных смесей является разработка их составов с применением отечественных модифицирующих добавок, не уступающих по качеству существующим импортным аналогам. В связи с этим разработка отечественных сухих строительных смесей, характеризующихся низкой себестоимостью, покрытия на основе которых будут обладать высокими эксплуатационными свойствами, является актуальной проблемой. Решение этой проблемы будет способствовать частичному отказу от зарубежных поставок модифицирующих добавок.

Работа выполнялась в рамках госзадания Министерства образования и науки Российской Федерации «Исследование закономерностей синтеза, кинетики формирования химического и фазового состава неорганических силикатных нанодисперсных добавок для композиционных строительных материалов различного функционального назначения. Разработка составов, технология изготовления» (рег. номер 7.3772.2011).

Степень разработанности темы исследования. При выполнении диссертационной работы был проведен анализ научно-технической, патентной отечественной и зарубежной литературы, а также справочной и нормативной документации. Заметный вклад в исследование проблем, связанных с созданием рецептур сухих строительных смесей, покрытия на основе которых обладают повышенными эксплуатационными показателями, внесли отечественные ученые Комохов П.Г., Калашников В.И., Шангина Н.Н., Трещев А.А., Акулова М.В.,

Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Пустовгар А.П., Рахимбаев Ш.М., Ерофеев В.Т., Пичугин А.П., Низина Т.А. и др. В их работах содержатся фундаментальные основы создания рецептуры сухих строительных смесей, предназначенных для реставрации и отделки зданий и сооружений, в том числе известковых, выбора компонентов, топологии структуры. Отмечая значимость научных результатов, полученных данными авторами, необходимо обозначить, что некоторые аспекты повышения стойкости покрытий изучены недостаточно. Актуальным является оценка возможности повышения стойкости известковых покрытий за счет использования добавки, содержащих в своем составе в основном низкоосновные гидросиликаты кальция.

Цели и задачи работы. Целью настоящей работы является разработка рецептуры известковых сухих строительных смесей для реставрации и отделки зданий, покрытия на основе которых обладают повышенной эксплуатационной стойкостью. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- обосновать целесообразность применения добавок на основе гидросиликатов кальция в рецептуре известковых сухих строительных смесей;
- выявить закономерности структурообразования известковых составов в присутствии добавок на основе гидросиликатов кальция;
- разработать рецептуру известковой сухой строительной смеси, покрытия на основе которой обладают повышенной эксплуатационной стойкостью;
- установить технологические и эксплуатационные свойства известковых сухих строительных смесей и покрытий на их основе;
- подготовить нормативные документы и провести апробацию разработанной сухой строительной смеси.

Научная новизна работы. Обоснована возможность повышения стойкости покрытий на основе сухих строительных смесей введением добавки гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита. Установлены закономерности структурообразования известкового композита с применением добавки гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии

диатомита, заключающиеся в образовании гидросиликатов кальция различной основности, уменьшении количества свободной извести.

Установлено, что введение в рецептуру сухих строительных смесей добавки гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита, способствует ускорению набора прочности покрытий. Доказано, что высокие эксплуатационные свойства покрытий на основе разработанной сухой строительной смеси объясняются микроструктурой известкового композита, которая отличается однородностью, большим количеством новообразований, относящихся к гидросиликатам кальция. Предложена модель параметров синтеза добавки на основе гидросиликатов кальция, которая позволяет оптимизировать расход хлорида кальция и диатомита для синтеза добавок гидросиликатов кальция.

Теоретическая и практическая значимость работы. Разработан состав сухой строительной смеси, предназначенный для отделочных работ и содержащий добавку на основе гидросиликатов кальция, известь-пушонку, кварцевый песок Ухтинского месторождения с соотношением фракций 0,63-0,315 мм. и 0,315-0,16 мм. соответственно 80%:20%, пластификатор Кратасол ПФМ, редиспергируемый порошок Neolith P 4400, гидрофобизатор Zincum 5. Отделочный слой на основе разработанной смеси характеризуется следующими показателями: прочность сцепления $R_{адг}=0,89$ МПа, коэффициент паропроницаемости $\mu=0,049$ мг/(м·ч·Па), водопоглощение по массе $W_m=10,15\%$, морозостойкость 35 циклов.

Разработана технология синтеза и рецептура добавки на основе гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита, для известковых отделочных смесей.

Методология и методы диссертационного исследования. Методологической основой исследования служат общенаучные методы, которые базируются на обобщении, эксперименте, сравнении, методе математического моделирования, применении принципа рассмотрения во взаимосвязи, системного подхода, принципа детерминизма. Задачи в диссертационной работе решались с помощью установления закономерностей «состав-структура-свойства». Методическую

основу диссертационной работы составляют методы оптической микроскопии, качественного и количественного анализа, рентгенофазового и дифференциально-термического анализа, физико-химические и физико-механические методы испытаний, статистические методы обработки экспериментальных данных.

Положения, выносимые на защиту:

– результаты исследований процессов структурообразования и свойств покрытий на основе известковых декоративных сухих строительных смесей в присутствии добавки гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита;

– составы и технология декоративных сухих строительных смесей для отделки стен и реставрации зданий и сооружений.

Степень достоверности результатов исследований. Достоверность результатов работы достигается статистической обработкой результатов экспериментальных исследований, сопоставлением результатов экспериментальных исследований с производственным апробированием, проведением исследований на оборудовании, которое прошло метрологическую поверку.

Апробация результатов работы. Основные результаты работы представлены и доложены на практической конференции, посвященной 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (XXI научные чтения) (г. Белгород, 2014 г.), международной конференции «Теория и практика повышения эффективности строительных материалов» (г. Пенза, 2014 г.), конкурсе проектов презентационной сессии «Start up Поиск» (г. Пенза, 2014 г.), молодежном форуме ПФО «iВолга 2015» (г. Самара, 2015), научно-практической конференции «У.М.Н.И.К.» (г. Пенза, 2015 г.), Всероссийском молодежном образовательном форуме «Территория смыслов» (г. Владимир, 2015).

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликована 21 научная работа, в том числе 13 работ в российских рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных

ВАК, 1 статья в издании, входящем в международную реферативную базу данных и систем цитирования Scopus.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 153 страницах машинописного текста, содержит 37 рисунков, 52 таблицы, список литературы из 150 наименований.

Глава 1. Состояние вопроса и задачи исследования

1.1 Тенденции развития производства сухих строительных смесей

Исследования отечественного рынка сухих строительных смесей (ССС) за последние годы показывает, что в целом он рос и развивался по сравнению с другими сегментами строительных материалов [9]. На рост рынка ССС влияют:

- увеличение объема строительных и ремонтно-отделочных работ;
- увеличение расхода материалов на единицу таких работ.

После нескольких лет быстрого роста, количество компаний-производителей стабилизировалось. Выход на рынок новых, как правило, не слишком больших производителей компенсируется закрытием других предприятий, обычно, также не слишком крупных [6]. Информация о количестве предприятий, выпускающих ССС за последние годы на отечественном рынке, представлена на рисунке 1.1.

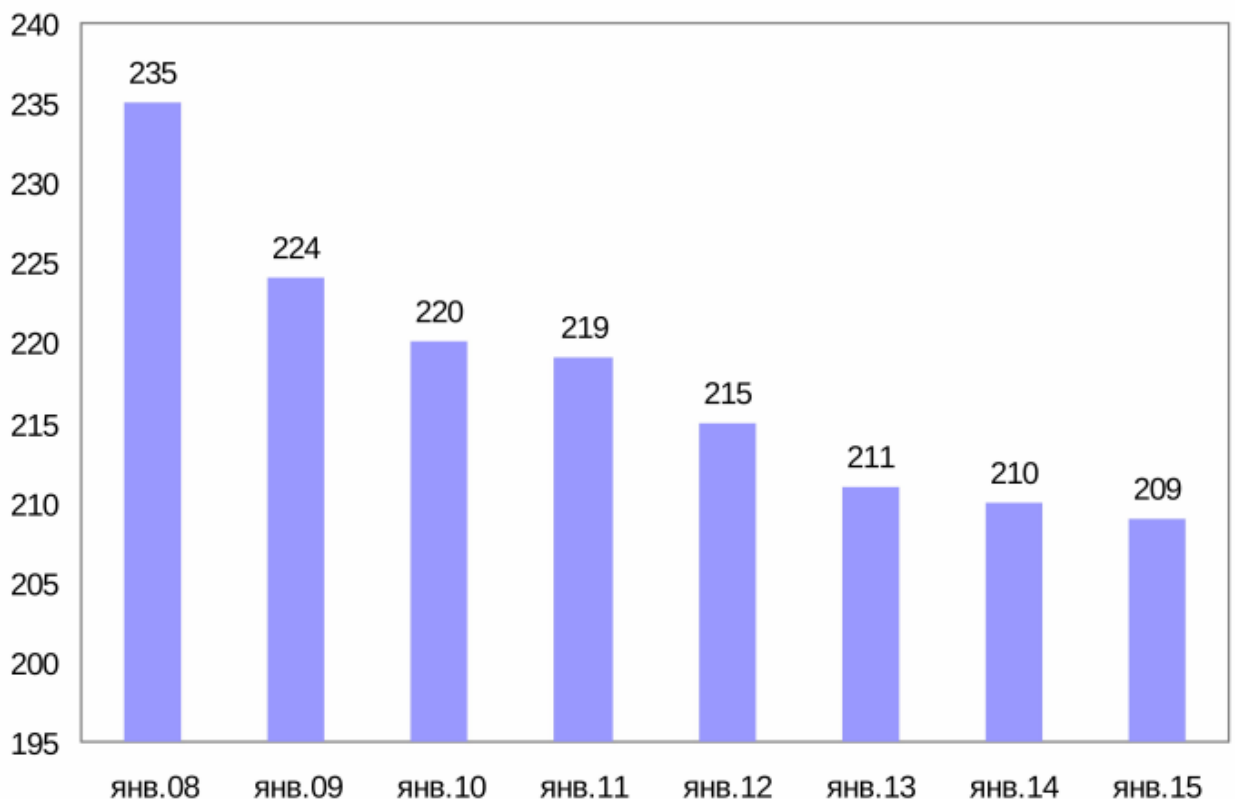


Рисунок 1.1 – Количество предприятий, производящих ССС в России («Строительная информация») [9]

В 2014 – начале 2015 года на отечественном рынке появились несколько крупных заводов, выпускающих ССС: заводы «Бергауф» и «Хенкель Баутехник» в Новосибирске, новый завод компании «Сен-Гобен» под Москвой, второй завод ССС компании «Гипсополимер» в Перми. Так же была увеличена мощность ряда существующих предприятий по производству сухих строительных смесей [84].

На сегодняшний день в сегменте ССС функционируют около шестидесяти производителей ССС, и за последние несколько лет это число не увеличивалось. Около половины отечественного рынка ССС традиционно занимают несколько производителей-лидеров, представляющих торговые марки «Кнауф», «Vetonit», «Плитонит» и «Юнис». Во многих крупных городах России, кроме дилеров, есть свои предприятия-производители, реализующие продукцию в этом же регионе.

На рисунке 1.2 представлена диаграмма основных производителей ССС на отечественном рынке.

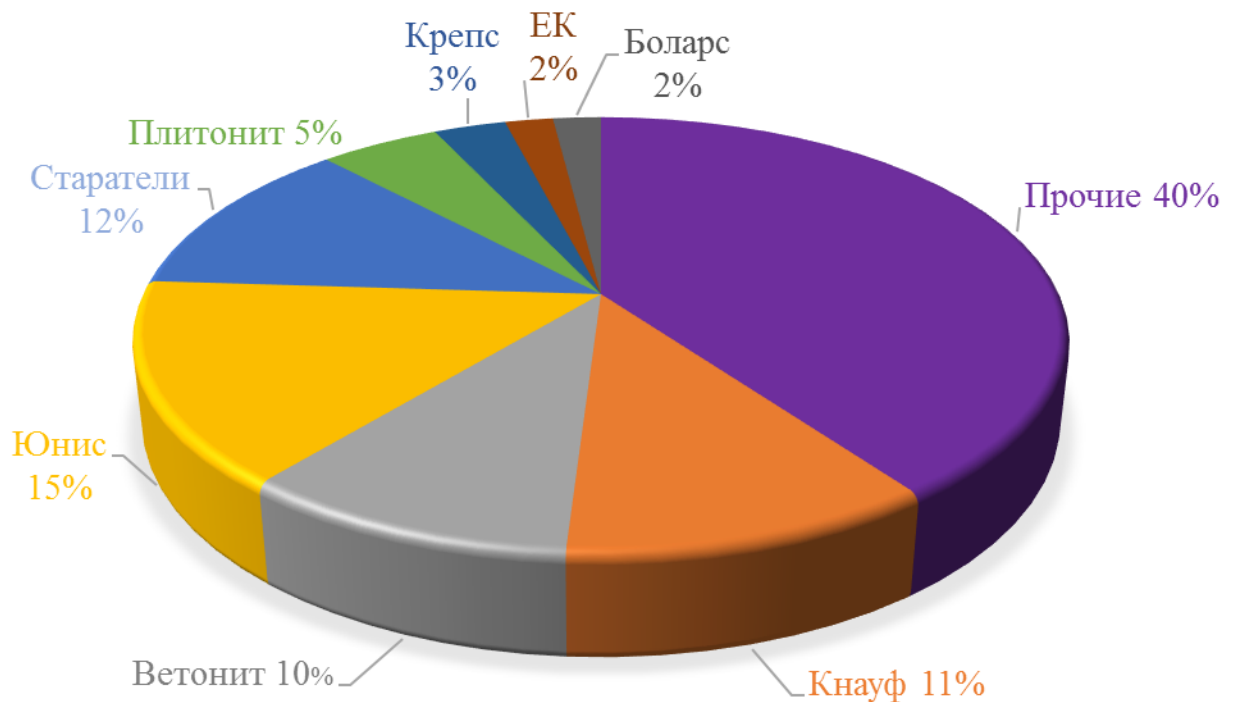


Рисунок 1.2 – Основные производители сухих строительных смесей России и их доли рынка [6]

Анализ данных 2015 года компании «Строительная информация» показал, что на отечественном рынке производство ССС росло достаточно медленно,

увеличившись за год всего лишь на 6% в натуральном выражении [84]. Импорт понижался со значительными темпами, в результате продажи ССС в России (без учета Крыма) увеличились лишь на 5%, что меньше, чем в 2013 году, и может быть оценено приблизительно в 9,7 млн. тонн ССС. При этом темпы прироста выпуска были разными (у всех крупных производителей – положительными), различную динамику показали и разные товарные группы ССС. Так, впервые за несколько лет производство гипсовых ССС выросло заметно больше, чем цементных. Из наибольших товарных групп медленнее всего росли клеи для керамической плитки, наиболее быстро происходил рост гипсовой штукатурки [94, 111].

На рисунке 1.3 представлена диаграмма соотношения объемов различных товарных групп ССС.

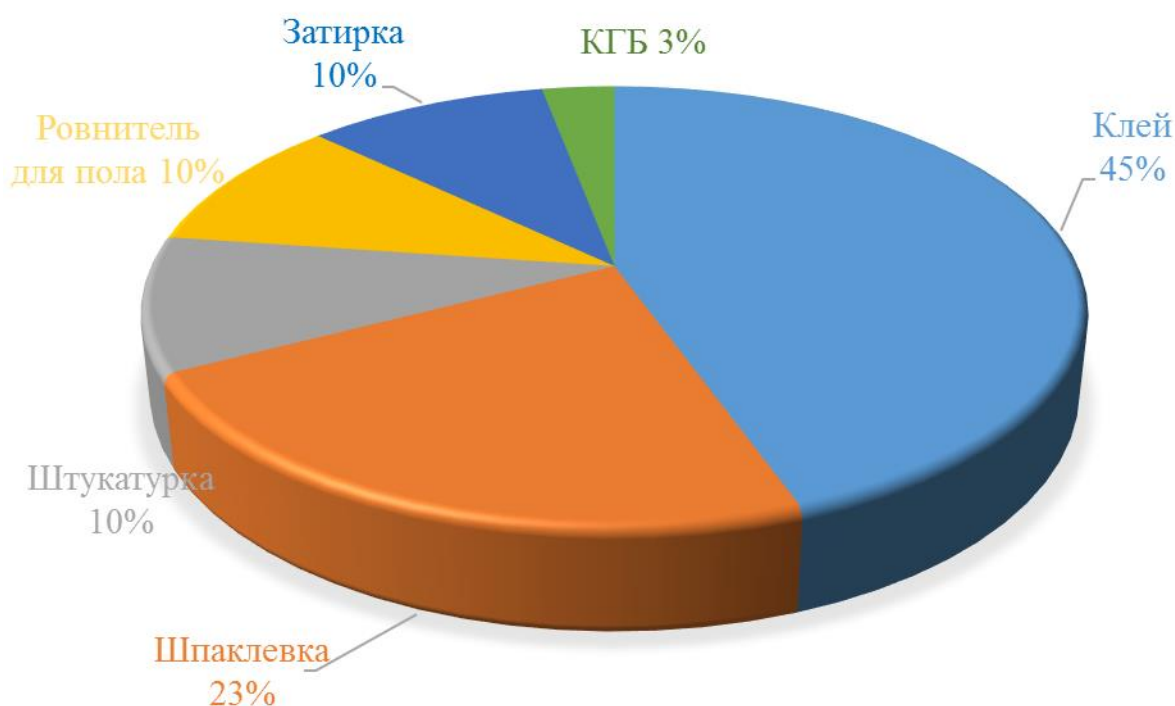


Рисунок 1.3 – Диаграмма соотношения объемов различных товарных групп ССС на отечественном рынке [22]

В настоящее время наибольшую долю среди ССС занимают цементные клеи, в последние годы популярность получили затирки для швов, полимерные шпаклевки и ровнители для пола на гипсовой основе.

Одним из важнейших материалов, использовавшихся при реставрации зданий, признанных в настоящее время памятниками архитектуры, являлись растворы на основе воздушных вяжущих, в частности, известковые [65, 100].

На рисунке 1.4 представлена диаграмма распределения ССС среди потребителей на отечественном рынке. Как видно из рисунка 1.4, 70% доли приходится на строительные организации.



Рисунок 1.4 – Распределение ССС среди потребителей на отечественном рынке [17]

Отечественный рынок ССС на сегодняшний день испытывает на себе все проблемы кризисного состояния строительной индустрии. I квартал 2015 года показал отрицательную динамику по некоторым отраслям (штукатурки, клеи для плитки, шпаклевки). За пять месяцев 2015 г. рынок упал на 20%, это произошло из-за общего экономического спада и снижения объемов строительных работ. Во II квартале 2015 года рынок оживился, и с началом сезона строительных работ ситуация стала улучшаться. Стало происходить возвращение к росту, хотя и медленному. Среди прогнозов на рынке ССС эксперты отмечают рост спроса на «зимние» смеси и на недорогие универсальные ССС. Таким образом, имеется тенденция к переходу производителей на выпуск более дешевых ССС [9].

В последние годы наибольшей популярностью среди штукатурных ССС пользуются цементные и гипсовые смеси. На известковые смеси спрос меньше из-за невысокой прочности и водостойкости покрытий на их основе. Однако, известковые ССС обладают рядом преимуществ: хорошие теплоизоляционные и огнеупорные свойства; экологичны; хорошее сцепление с различными поверхностями; устойчивы к биоповреждениям, из-за высокой щелочности извести; эластичны и легки в работе; имеют высокую паропроницаемость, что позволяет стене дышать, не накапливая конденсата, тем самым способствуя улучшению микроклимата отделанных ими помещений за счет регулирования влажности среды. Покрытия на основе известковых ССС гвоздимы. Известковые штукатурные смеси можно наносить на отделяваемую поверхность при низких, положительных и умеренно отрицательных температурах [21, 46, 59, 60, 67].

Широкое применение известковые ССС находят для реставрации памятников, санирования и ремонта зданий [8, 49, 64, 69, 95].

В России все каменные здания и сооружения, построенные до конца XIX в., а также большое количество домов начала XX в. построены на известковом связующем и оштукатурены известковыми составами. К примеру, все строительные составы архитектурных памятников Киева, относящихся к XI и XII векам, являются известково-цементными, а строительные составы Владимиро-Суздальских памятников относятся к известково-песчаным [83, 102, 116]. Это связано с тем, что промышленное производство и использование цемента в нашей стране началось только после 1880 г. Применяемые ранее известковые составы не совместимы с современными отделочными ССС, так как интенсивная карбонизация известковых составов происходит только в поверхностном слое, который контактирует с воздухом, поэтому прочность массива известкового покрытия небольшая. Современные ССС, предназначенные для нанесения на прочные подложки, приготовленные на основе цементного или известково-цементного вяжущего с преобладанием цемента, мало пригодны для окрашивания здания, оштукатуренного известковыми составами, так как замена известковых составов на цементные при проведении реставрационных работ может нарушить

процессы миграции влаги через ограждающие конструкции и привести к негативным последствиям в виде морозного разрушения и отслоения отделочных покрытий. [43, 50, 55, 73].

В настоящее время известна немецкая фирма «Cararol», которая производит известковые составы для окраски и ремонта стен зданий прошлого века. Фирма «Cararol» предлагает краску «Calcimur Fassaden-Kalkfarbe», шпатлевку «Calcimur Kalkspachtel» и шпатлевочную массу «Calcimur Kalkschlamme» [42].

Таблица 1.1 – Основные свойства известковых составов фирмы «Cararol»

| Название | Расход, мл/м ² | Степень глянца | Применение |
|-----------------------------|------------------------------|-----------------|--|
| Calcimur Fassaden-Kalkfarbe | 150-200 | глубоко-матовая | для исторческих фасадов |
| Calcimur Kalkspachtel | 300 – 400 | глубоко-матовая | для фасадов и интерьеров |
| Calcimur Kalkschlamme | 150-200 | глубоко-матовая | Для старых прочных силикатных и известковых покрытий |

Известковые смеси «Cararol» наносятся кистью или валиком тонкими слоями «мокрое по мокрому» при температуре >8°C. Высыхание наступает через 4-6 ч., следующей слой наносится примерно через 24 ч. Покрытия на основе ССС фирмы «Cararol» устойчивы к погодным условиям, обладают высокой способностью к диффузии, препятствуют поражению водорослями и грибами.

Таким образом, известковые покрытия на основе ССС фирмы «Cararol» обладают всеми необходимыми качествами известковых составов, которые применяются для проведения реставрационных работ, а благодаря новым технологическим решениям вполне могут эффективно бороться с негативными разрушительными факторами, которые проявляются вследствие загрязнения атмосферы.

Также на отечественном рынке ССС известна русская фирма «Крепс», выпускающая известковые составы для реставрации исторических стен зданий и сооружений. К этим известковым составам относятся «Антик 1» и «Антик 2». Известковые ССС «Антик 1» и «Антик 2» можно наносить на старые кирпичные, бетонные, оштукатуренные составами на известковом вяжущем стены. Различие в фракционном составе наполнителя позволяет использовать «Антик 1» и «Антик 2» при различных видах отделочных работ [109].

В рецептуру «Антик 1» входит известь, мелкозернистый фракционированный песок, модифицирующие специальные добавки. «Антик 1» может применяться как финишный отделочный штукатурный состав в труднодоступных местах. Также штукатурка «Антик 1» используется в качестве выравнивающего слоя толщиной до 2 см внутри и снаружи помещений.

В рецептуру «Антик 2» входит известь, крупнозернистый фракционированный песок, модифицирующие специальные добавки. В настоящее время при реставрации зданий часто устраняется старая штукатурка до основания стены, а после оштукатуривается новыми составами. Для такого вида работ можно использовать более крупную по фракционному составу смесь «Антик 2».

В таблице 1.2 приведены основные свойства известковых отделочных составов фирмы «Крепс».

Таблица 1.2 – Технические данные штукатурных смесей фирмы «Крепс»

| Технические данные | «Антик 1» | «Антик 2» |
|---------------------------------|-----------|-----------|
| Марочная прочность | M10 | M15 |
| Водопоглощение, % | 11,7 | 11,5 |
| Марка по морозостойкости | F35 | F35 |
| Минимальный слой нанесения, мм | 2 | 2 |
| Максимальный слой нанесения, мм | 20 | 20 |

Ещё одной известной компанией на отечественном рынке, производящей известковые реставрационные ССС и краски, является «Рунит». С 2000 года фирма «Рунит» входит в Союз Реставраторов Санкт-Петербурга. «Рунит» предлагает «Известковую штукатурку Рунит классическую крупную» и «Шпаклевку универсальную Рунит» [58]. Преимуществами предлагаемой продукции является:

- повышенная водостойкость;
- высокая паропроницаемость;
- экологичность;
- высокая стойкость к биопоражениям.

Для нанесения «Известковой штукатурки Рунит Классической крупной» поверхность должна быть ровной, сухой. Перед оштукатуриванием для устранения больших неровностей, на поверхность должна быть нанесена «Штукатурка Рунит крупная». На подготовленную, смоченную поверхность наносится обрызг. Толщина слоя обрызга должна составлять около 5 мм.

В таблице 1.3 представлены основные свойства отделочных составов фирмы «Рунит».

Таблица 1.3– Технические данные реставрационных смесей фирмы «Рунит»

| Технические данные | «Известковая штукатурка Рунит Классическая крупная» | «Шпаклевка универсальная Рунит» |
|-------------------------------|---|---------------------------------|
| Минимальная толщина слоя, мм | 10 | 1 |
| Максимальная толщина слоя, мм | 15 | 3 |
| Цвет | бежевый | белый |
| Прочность при сжатии, МПа | 1,5 | - |

Использование для реставрационных работ ССС импортных фирм удорожает стоимость работ и делает их зависимыми от импортных поставок.

Существующие рецептуры отечественных ССС, предназначенных для реставрации стен зданий, содержат в своем составе значительное количество импортных модифицирующих добавок (5-8 наименований), что на сегодняшний день в силу финансовых причин значительно удорожает стоимость отечественных ССС.

В связи с этим актуальным является разработка отечественных ССС, содержащих в своем составе отечественные модифицирующие добавки.

1.2 Модифицирующие добавки для известковых строительных смесей на основе силикатов кальция

Введение многофункциональных добавок в рецептуру ССС позволяет управлять технологическими, физико-механическими и эксплуатационными свойствами ССС, появляется возможность регулировать реологические свойства, повысить водоудерживающие свойства, замедлить сроки схватывания, за счет чего появляется возможность увеличить жизнеспособность растворов, которые готовятся в условиях строительства [5, 23, 45, 86, 93].

Повысить водостойкость и прочность известковых покрытий можно с помощью введения в рецептуру ССС активных минеральных добавок. Использование минеральных модифицирующих добавок приводит к увеличению непроницаемости и химической стойкости, улучшению трещиностойкости покрытий, увеличению прочности при сжатии, адгезии [4, 20, 53, 96, 97].

В качестве активных минеральных добавок могут применяться природные (трепел, диатомит, пемзы, опока, глинезем) и искусственные (шлаки, кремнеземные отходы, доменные гранулированные шлаки) материалы [106, 113, 114]. При взаимодействии извести с активными минеральными добавками происходит связывание извести аморфным активным кремнеземом с добавлением воды в гидросиликат кальция (ГСК), который и обеспечивает ее гидравлическое твердение [15, 51]. Так же в составе активных минеральных добавок может

входить глинозём, взаимодействующий с известью в присутствии воды, образуя гидроалюминат кальция, который обладает гидравлическими характеристиками.

В настоящее время интерес представляет применение в сухих строительных смесях гидросиликатов кальция, которые активно взаимодействуют с известью. Силикаты кальция различного состава и структуры нашли широкое применение при производстве строительных материалов, бумаги, красок, пластмасс, керамических изделий, стекла, сорбентов для очистки вод [61, 104, 119]. Таким образом, наблюдается большая потребность в волластоните – около 16,4 тыс. т/год (Россия), 350 тыс. т/год (Китай), 110 тыс. т/год (США), 129 тыс. т/год (Индия) [112, 126, 137, 142].

В таблице 1.4 представлена область применения и потребность в добавке на основе силикатов кальция в России.

Таблица 1.4 – Область применения силикатов кальция в России

| Наименование отрасли | Требуемый объем добавки |
|----------------------------------|-------------------------|
| Бумажная промышленность | 1,08 тыс. т/год |
| Бетон товарный и растворы | 312 тыс. т/год |
| Производство ССС | 20 тыс. т/год |
| Производство пластмасс | 1,3 млн. т/год |
| Лакокрасочные материалы | 16 тыс. т/год |
| Керамическая промышленность | 1,0 тыс. т/год |
| Производство силикатного кирпича | 137 тыс. т/год |

В таблице 1.5 представлена эффективность применения добавок на основе силикатов кальция.

Среди всего многообразия силикатов наибольший практический интерес представляют силикаты кальция $n\text{CaO} \cdot m\text{SiO}_2$ и гидросиликаты кальция $n\text{CaO} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot p\text{H}_2\text{O}$ [54, 61, 79, 105].

В последние годы особый интерес уделяется разработке оптимальных способов синтеза и изучению возможностей практического применения таких силикатов кальция, как волластонит $\text{Ca}_6\text{Si}_6\text{O}_{18}$ и ксонотлит $\text{Ca}_6\text{Si}_6\text{O}_{17}(\text{OH})_2$, которые являются промежуточными продуктами гидротермального синтеза волластонита. Такой

интерес вызван наличием у волластонита и ксонотолита ценных физико-химических, физико-механических и термических характеристик [16, 18, 19, 77, 123, 148].

Таблица 1.5 – Эффективность применения добавок на основе силикатов кальция

| Наименование отрасли | Объем производства в год | Требуемый объем добавки |
|----------------------------------|--|-------------------------|
| Бумажная промышленность | 10,8 | 1,08 тыс. т/год |
| Бетон товарный и растворы | 52 млн м ³ | 312 тыс. т/год |
| Производство ССС | 2 млн т | 20 тыс. т/год |
| Производство пластмасс | 2,672 млн т | 1,3 млн т/год |
| Лакокрасочные материалы | 800 тыс. т, из них 200 тыс. т – водоразбавляемые | 16 тыс. т/год |
| Керамическая промышленность | 7365,1 млн усл. кирпича | 2062 тыс. т/год |
| Производство силикатного кирпича | 3812 млн усл. кирпича | 137 тыс. т/год |

Анализ литературы и патентный поиск показал, что существует большое количество способов синтеза силикатов кальция из различных кальцийсодержащих и кремнийсодержащих соединений: расплавные методы получения волластонита, гидротермальный (автоклавный) синтез гидросиликатов кальция, синтез путём прямых твердофазных реакций при повышенных температурах [41, 57, 78, 131, 149].

Известен способ получения ГСК путем взаимодействия оксида кремния (II) и оксида кальция в гидротермальных условиях с последующей сушкой полученного продукта. Оксид кремния (II) используют в смеси с фтористыми соединениями

(фтористыми солями натрия и алюминия в количестве 1-5%). Фтористые соединения применяют в виде отходов производства фтористого алюминия [91].

В патенте РФ 2090501 описан способ получения волластонита, достигающейся путем взаимодействия кальцийсодержащих отходов производства фосфорных удобрений и кремнеземсодержащих отходов производства фтористого алюминия в присутствии щелочных соединений (гидроксидов металлов I и II групп таблицы Менделеева, аммония или их смесей) и натрия хлорида при молярном соотношении CaO/SiO_2 , равном 0,8-1; CaO/OH^- , равном 0,5-2,0:1,0; OH^-/NaCl , равном 0,5-2,0:1,0; процесс ведется в гидротермальных условиях при температуре 70-100°C в течение 1-3 часов при соотношении твердой и жидкой фаз Т:Ж, равном 1:3. Получающийся осадок отфильтровывается, промывается, высушивается и затем прокаливается при температуре 950-1050°C в течение 40-60 мин. для получения волластонита. Отличием данного способа синтеза является использование отходов производства фтористого алюминия, проведение реакции получения гидросиликатов с применением хлорида натрия при указанных молярных соотношениях оксида кальция, OH^- и NaCl в одну стадию при температуре 70-100°C [8].

В патенте Великобритании № 1221060 [143] предложен способ получения гидросиликатов путем осаждения силиката щелочного металла (например, силиката натрия) раствором кальциевой соли (например, хлорид кальция с концентрацией 50-150 г/л). Для удаления хлорида натрия полученный осадок тщательно промывают, а затем вновь распускают в воде.

Известна технология получения искусственного неорганического материала (заявка Японии № 63-330810), основанная на взаимодействии жидкого стекла со смесью минеральной кислоты и растворимой соли (соляная кислота и хлорид магния) с последующей гидротермальной обработкой при температуре 100-350°C. Основным недостатком данной технологии синтеза ГСК является необходимость гидротермальной обработки при высоких значениях температуры и соответствующего ей давления [144].

Известен способ (патент Румынии № 94694) синтеза ГСК путем взаимодействия силикатов натрия или калия с силикатным модулем $m > 1$ с гидроксидом кальция и сульфатом кальция при молярном соотношении $1(m-1):1$. Реакция длится 15 минут при $40-50^{\circ}\text{C}$, затем следующие 30 минут при $120-140^{\circ}\text{C}$. Образующийся осадок измельчают, промывают водой при $60-80^{\circ}\text{C}$, отфильтровывают ГСК. Отфильтрованный ГСК прокаливают при $850-900^{\circ}\text{C}$ в течение 15-20 минут и получают β -волластонит. К недостаткам способа можно отнести неполное вовлечение сульфата кальция в реакцию, применение в качестве исходных веществ малодоступных силикатов калия или натрия, использование большого количества гидроксида кальция. Данный способ не обеспечивает синтез волластонита высокой степени однородности по размерам частиц [91].

Приведенные способы синтеза гидросиликатов кальция характеризуются рядом недостатков [109]:

- многоступенчатость процесса получения ГСК;
- удаление аморфного кремнезема, участвующего в твердении вяжущих с образованием дополнительных ГСК, что приводит к увеличению прочности отделочных ССС;
- образующийся хлорид натрия приводит к повышению твердения минеральных вяжущих, что также способствует упрочнению известкового состава.

Одни из наиболее оптимальных режимов синтеза силикатов кальция основаны на взаимодействии исходных компонентов в водной среде при нормальных условиях (температуре 20°C и давлении $1,013 \times 10^5$ Па). Свойства и процессы формирования силикатов кальция, синтезируемых при нормальных условиях, остаются недостаточно изученными. Поэтому проблема разработки и оптимизации процессов синтеза гидросиликатов кальция из доступного сырья является актуальной [88, 90].

Известен способ получения ГСК, основанный на взаимодействии разбавленного раствора жидкого стекла (в соотношении жидкое стекло/вода $1:(0.5-1)$) с силикатным модулем $2,4-4,2$ с раствором CaCl_2 с концентрацией 15-

20% (в мольном соотношении 1,1-1,5 от стехиометрически необходимого). Полученный осадок промывается от растворимых солей и высушивается при температуре 80-90°C до постоянной массы. Использование при разбавлении соотношения жидкое стекло/вода более 1:0,5 из-за высокой плотности раствора затрудняет перемешивание и диспергирование хромофора в смеси, вследствие чего осадок получается неравномерно окрашенным; при разбавлении в соотношении меньшем 1:1 снижается концентрации ионов SiO_3^{2-} в растворе, реакция замедляется и увеличивается количество фильтрата. Вышеуказанные степени разбавления жидкого стекла являются граничными показателями, которые обеспечивают повышенную по сравнению с прототипом концентрацию ионов SiO_3^{2-} в растворе, составляющую 15-30% при удовлетворительном значении плотности раствора, обеспечивающую оптимальные условия перемешивания [88].

Технические характеристики данной добавки на основе гидросиликатов кальция представлены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Технические характеристики добавки на основе ГСК

| Наименование показателей | Единица измерений | Добавка на основе гидросиликатов кальция |
|--------------------------------------|-------------------|--|
| Плотность | кг/м ³ | 2500 |
| Температура дегидратации | °С | >600 |
| Цвет | | Абсолютно белый |
| Твердость по шкале Мооса | - | 4-5,5 |
| Насыпная плотность | кг/м ³ | 0,7-0,9 |
| Дисперсность | мкм | 5-10 |
| Активность взаимодействия с известью | мг/г | 370 |

Недостатком приведенных способов является то, что при синтезе ГСК образуется смесь высокоосновных и низкоосновных гидросиликатов, где преобладают высокоосновные гидросиликаты кальция. Учитывая нестабильность высокоосновных гидросиликатов кальция и то, что низкоосновные ГСК обладают большей прочностью, актуальной является разработка технологии синтеза добавок на основе ГСК, содержащих в большем количестве низкоосновные гидросиликаты кальция.

На отечественном рынке ССС известна немецкая фирма «BASF», производящая модифицирующую добавку «X-SEED 100». Добавка «X-SEED 100» представляет собой суспензию активных частиц наноуровня и предназначена для ускорения процесса гидратации цемента в первые часы после затворения (3-6 часов). Действие добавки основано на технологии внедрения кристаллов, сильно ускоряющей рост важных кристаллов гидрат силиката кальция. Добавка «X-SEED 100» повышает скорость твердения бетона при различных температурах, а также при теплообработке [146]. Механизм действия добавки представляет собой беспрепятственное вращение кристаллов в частицы цемента, которые ускоряют раннюю прочность, в то время как окончательная микроструктура улучшается за счет повышения характеристик.

Добавка «X-SEED 100» подходит для всех видов бетона, особенно для железобетонных материалов, где увеличение прочности является особо важным фактором для производителя.

Данная добавка представляет собой жидкость, которая добавляется в бетон в момент замешивания. Достаточное время размешивания гарантирует однородность раствора. Введение добавки «X-SEED 100» не придает бетону пластичность, а повышает скорость твердения. Перед применением рекомендуется уменьшить количество воды в бетоне, добавляя добавку перед пластификатором (для избегания чрезмерного количества воды, что, в свою очередь, негативно сказывается на водоцементном соотношении, и, следовательно, на прочности бетона).

Преимущества добавки «X-SEED 100»:

- уменьшает продолжительность и температуру тепловой обработки, позволяет экономить энергоресурсы и затраты на тепловую обработку изделий (в теплое время года возможен полный отказ от тепловой обработки), а также увеличивает оборачиваемость форм и количества выпускаемой продукции;
- эффективно взаимодействует со всеми типами цемента;
- повышает потенциал гидратации, что позволяет применять цементы более низких марок;
- возможно вводить в бетонные смеси, предназначенные для предварительно напряженных конструкций;
- в некоторых случаях возможно применять в качестве противоморозной добавки;
- сокращает выброс CO₂ при производстве.

В таблице 1.7 приведены технические данные модифицирующей добавки «X-SEED 100» фирмы «BASF».

Таблица 1.7 – Технические данные добавки «X-SEED 100» немецкой фирмы «BASF».

| Технические данные | Модифицирующая добавка «X-SEED 100» |
|---|--|
| Форма | Суспензия |
| Цвет | Непрозрачно белый |
| Плотность (при 20°C), г/см ³ | 1,135 ±0,02 |
| pH (при 20°C) | 10-12 |
| Содержание щелочей | <4,0 |
| Содержание хлоридов, % | <0,1 |

Добавка «X-SEED 100» поставлялась в Россию, в том числе ООО «Лакра». В настоящее время данная добавка в Россию не поставляется. Стоимость до принятия санкций составляла 86-170 тыс. руб./т.

Сопоставление свойств и стоимости предлагаемой добавки свидетельствуют о том, что предлагаемая добавка обладает явными недостатками:

- поставляется в форме водной суспензии;

- высокая стоимость;
- узкая область применения (только стройиндустрия);
- одинаковая эффективность влияния на свойства бетонов и растворов.

1.3 Цели и задачи исследования

Анализ отечественной и зарубежной научно-технической, патентной литературы свидетельствует, что проблема повышения стойкости известковых отделочных составов остается на сегодняшний день актуальной.

Таким образом, актуальным является оценка возможности повышения стойкости известковых покрытий за счет использования добавки на основе гидросиликатов кальция, содержащих в основном низкоосновные гидросиликаты кальция. В связи с этим целью настоящей работы является разработка составов сухих строительных смесей для реставрации и отделки зданий и сооружений, покрытия на основе которых обладают повышенной стойкостью. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- обосновать целесообразность применения в рецептуре известковых отделочных составах добавки на основе гидросиликатов кальция, содержащей в основном низкоосновные гидросиликаты кальция;
- выявить закономерности структурообразования известковых образцов с добавкой на основе ГСК, содержащей в основном низкоосновные гидросиликаты кальция;
- разработать состав известковой отделочной смеси, покрытия на основе которой обладают повышенной эксплуатационной стойкостью;
- определить технологические и эксплуатационные свойства известкового отделочного состава и покрытий на его основе;
- подготовить нормативные документы, провести апробацию и оценить технико-экономическую эффективность применения разработанной ССС.

Глава 2. Характеристика материалов. Методика проведения исследований

2.1 Характеристика материалов

Для приготовления добавки использовались следующие материалы:

- кальций хлористый (обезвоженный) (ГОСТ 450-77 [34]), характеризуется показателями качества, представленными в таблице 2.1;
- жидкое натриевое стекло (ГОСТ 13078-81 [28]), характеризуется показателями, представленными в таблице 2.2;
- жидкое калиевое стекло (ГОСТ 18958-71 [30]), характеризуется показателями, представленными в таблице 2.3;
- монасил натрия (ГОСТ 13078-81), характеризуется показателями, представленными в таблице 2.2;
- монасил калия (ГОСТ 18958-71), характеризуется показателями, представленными в таблице 2.3;
- диатомит Инзенского, Ахматовского, Коржевского месторождения Пензенской области. Истинная плотность диатомита составляла $\rho_{ист} = 2200 \text{ кг/м}^3$, насыпная плотность - $\rho_{нас} = 300 \text{ кг/м}^3$;
- микрокремнезем с истинной плотностью равной $\rho_{ист} = 2200 \text{ кг/м}^3$, насыпная плотность - $\rho_{нас} = 290 \text{ кг/м}^3$.
- сульфанол, характеризуется показателями, представленными в таблице 2.5;
- Ecarlan 915, характеризуется показателями, представленными в таблице 2.6;
- суперпластификатор С-3, характеризуется показателями, представленными в таблице 2.7.

Для приготовления сухой строительной смеси использовали следующие материалы:

- гашеная известь (пушонка) с активностью 86%, полученная на Каменском предприятии «Атмис-сахар» для технологических целей [39]. Данная известь

характеризуется истинной плотностью $\rho_{ист} = 2200 \text{ кг/м}^3$ и насыпной плотностью $\rho_{нас} = 280 \text{ кг/м}^3$;

– кварцевый песок Ухтинского месторождения Пензенской области (ГОСТ 8736-93 [38]). Пески Ухтинского месторождения относятся к группе мелких песков. По минеральному составу являются кварцевыми с примесью полевого шпата, глауконита, глинисто-опаловых агрегатов, а также фракций тяжелых минералов – циркона, рутила, ильменита, дистена. В химическом составе преобладает кремнезем до 97%. Среднее значение модуля крупности составляет 1,38. Данный песок характеризуется истинной плотностью, равной $\rho_{ист} = 2650 \text{ кг/м}^3$, насыпной плотностью – $\rho_{нас} = 1340 \text{ кг/м}^3$.

– вода из хозяйственно-питьевого водопровода, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 23732-2011 [31].

В качестве добавок применяли:

- суперпластификатор Кратасол ПФМ (ТУ 5745-365-05800142-2011);
- суперпластификатор Sika ViscoCrete 3180 (ТУ 2493-009-136113997-2011);
- суперпластификатор С-3 (ТУ 6-36-020429-625);
- редиспергируемый порошок Neolith P 4400 (ISO 9001);
- гидрофобизирующий порошок Zincum 5 (ТУ 6-09-17-279-90);
- гидрофобизирующий порошок Sodium Oleate (ТУ 6-09-1224-83).

Таблица 2.1 –Показатели качества кальция хлористого

| Наименование показателя | Норма ТУ «ч» | Результат анализа |
|--|----------------------|----------------------|
| Внешний вид | Гранулы белого цвета | Гранулы белого цвета |
| Массовая доля хлористого кальция, % | 96,5 | 94,1 |
| Массовая доля железа, %, | 0,004 | Менее 0,004 |
| Массовая доля щелочей в пересчете на $\text{Ca}(\text{OH})_2$, %, | 0,1 | 0,08 |
| Массовая доля магния, %, | 0,5 | Менее 0,5 |

Таблица 2.2 – Показатели качества жидкого натриевого стекла

| Наименование показателя | Значение показателя в соответствии с ГОСТ 13078-81 |
|---|--|
| Силикатный модуль | 2,3-3,6 |
| Плотность при 20°C, кг/м ³ | 1450-1500 |
| Массовая доля оксида кремния, % | 22,7-36,7 |
| Массовая доля оксида натрия, % | 7,9-13,8 |
| Массовая доля нерастворимого в воде остатка не более, % | 1,8 |

Таблица 2.3 – Показатели качества жидкого калиевого стекла

| Наименование показателя | Значение показателя в соответствии с ГОСТ 18958-71 |
|---|--|
| Силикатный модуль | 2,5-4,0 |
| Плотность при 20°C, кг/м ³ | 1300-1440 |
| Массовая доля оксида кремния, % | 10,2-12,5 |
| Массовая доля оксида калия, % | 20,0-26,0 |
| Массовая доля нерастворимого в воде остатка не более, % | 1,8 |

При выборе месторождения диатомита учитывался его химический состав [132].

В таблице 2.4 представлен химический анализ диатомита Инзенского, Ахматовского и Коржевского месторождения.

Таблица 2.4 – Химический состав диатомита (%)

| Месторождение | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | п.п.п. |
|---------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|--------|
| Инзенский | 83,4 | 2,53 | 1,5 | 1,88 | 0,89 | 9,4 |
| Ахматовский | 82,4 | 2,7 | 1,8 | 1,88 | 0,91 | 9,1 |
| Коржевский | 81,9 | 2,93 | 1,9 | 1,98 | 0,88 | 9,7 |

Выявлено, что в составе Инзенского месторождения диатомита содержится большее количество кремнезема, в связи с этим в работе применялся диатомит Инзенского месторождения [139].

Сульфанол – смесь натриевых солей. Сульфанол относится к числу поверхностно активных веществ (ПАВ), хорошо растворимых в воде и обладающих эмульгирующими свойствами. Основные показатели ПАВ Сульфанол приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Основные показатели ПАВ Сульфанол

| Наименование показателя | Фактические показатели |
|---|----------------------------------|
| Цвет порошка | от желтого до светло-коричневого |
| Содержание натриевых солей алкилбензолсульфокислот, кг/м ³ | 1190 |
| Высокое водоредуцирование, %, не менее | 80 |
| Массовая доля сульфата натрия не более, % | 15 |

Таблица 2.6 – Основные показатели ПАВ Ecaplan 915

| Наименование показателя | Фактические показатели |
|--|------------------------|
| Цвет жидкости | коричневый |
| Плотность при 20°C, кг/м ³ | 1040 |
| Показатель активности водородных ионов (рН) водного раствора с массовой долей 2% | 8,5 |
| Количество активных ингредиентов, % | 100 |

Суперпластификатор С-3 – это смесь нейтрализованных едким натром полимерных соединений разной относительной молекулярной массы, получаемых при конденсации сульфокислот нафталина с формальдегидом и технических лингосульфонов. Химический состав порошка С-3 представлен сульфатом натрия (7-10%), полиметиленафталинсульфонатами (олигомеры с длиной

цепочки от 1 до 25) (80-85 %), влага – 10 %. Основные показатели добавки С-3 приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Основные показатели суперпластификатора С-3

| Наименование показателя | Фактические показатели |
|---|------------------------|
| Цвет порошка | светло-коричневый |
| Массовая доля активного вещества в пересчете на сухой продукт, % не менее | 90 |
| Плотность при 20°С, %, не менее | 0,5 |
| Показатель активности водородных ионов (рН) водного раствора с массовой долей 2,5% | 7,0-9,0 |
| Пластифицирующий эффект без снижения прочности во все сроки твердения, мм, не менее | 125 |
| Плотность не менее, кг/ м ³ | 500 |

Суперпластификатор Sika ViscoCrete 3180 представляет собой суперпластификатор на основе поликарбоксилатных эфиров. Основные показатели добавки Sika ViscoCrete 3180 приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Основные показатели суперпластификатора Sika ViscoCrete 3180

| Наименование показателя | Фактические показатели |
|--------------------------------------|------------------------|
| Цвет жидкости | коричневый |
| Плотность, кг/м ³ | 1060 |
| Высокое водоредуцирование, % | 40 |
| Сохраняемость подвижности смеси, мин | 180 |

Добавка Кратасол ПФМ получают многостадийным органическим синтезом. Кратасол ПФМ представляет собой модифицированные лигносульфонаты натрия. Основные показатели добавки Кратасол ПФМ приведены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Основные показатели добавки Кратасол ПФМ

| Наименование показателя | Фактические показатели |
|---|---------------------------|
| | Кратасол ПФМ |
| Цвет порошка | темно-коричневый |
| Массовая доля сухих веществ, % не менее | 95 |
| Плотность жидкости, кг\м ³ | 1170 |
| Показатель активности водородных ионов (рН) водного раствора с массовой долей 2,5 % | 4,5-6 |
| Содержание хлоридов, % не более | 0,1 |

Neolith P 4400 – релдиспергируемый порошок, основанный на винилацетате и винилверсатате. Основные показатели добавки Neolith P 4400 приведены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Основные показатели добавки Neolith P 4400

| Наименование показателя | Фактические показатели |
|---------------------------------------|---------------------------|
| | Neolith P 4400 |
| Цвет порошка | Белый |
| Содержание твердых частиц, % | 98 |
| Содержание золы, % | 9 |
| Система стабилизации | Поливиниловый спирт |
| Минимальная температура пленки, °С | +6 |

Добавка Zincum 5 – это гидрофобизирующий порошок на основе стеарата цинка. Основные показатели гидрофобизирующего порошка Zincum 5 приведены в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Основные показатели добавки Zincum 5

| Наименование показателя | Фактические показатели |
|--|------------------------|
| | Zincum 5 |
| Цвет порошка | Белый, желтовато-белый |
| Содержание оксида цинка, %, не менее | 13,8 |
| Массовая доля остатка при просеве через сито с сеткой 200, %, не более | 0,2 |
| Массовая доля воды, %, не более | 0,5 |
| Плотность, г/см ³ | 266 |
| Температура плавления, °С | 121 |
| Содержание свободных жирных кислот, % | 0,41 |

Основные характеристики пигментов, которые применялись для окрашивания известковых образцов представлены в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Основные показатели пигментов

| Основные показатели пигмента | Пигмент | | |
|--------------------------------------|-------------|---|------|
| | Красный «Ж» | Голубой фталоцианиновый β-модификации марки Б | Охра |
| Устойчивость к свету | 2 | 7 | 7 |
| Устойчивость к воде | 5 | 5 | 5 |
| Устойчивость к натуральной олифе | 2 | 5 | 5 |
| Устойчивость к 5%-ному раствору HCl | 5 | 5 | 4 |
| Устойчивость к 5%-ному раствору NaOH | 4 | 5 | 4 |
| Устойчивость к температуре, °С | 100 | 180 | 110 |

2.2 Методика оценки реологических и технологических свойств известковых отделочных составов

Пластическую прочность известковой отделочной смеси определяли коническим пластометром КП-3. Данный метод основан на погружении конуса в исследуемый состав. Измерение заключается в глубине погружения конуса в исследуемый состав под действием постоянной нагрузки P [36, 98, 99]. В момент достижения конусом равновесия напряжение сдвига τ в составе становится равным пределу текучести τ_0 и определяется по формуле:

$$\eta = \tau = \tau_0 = k * \frac{P}{h^2}, \quad (2.1)$$

где η – пластическая прочность;

τ – напряжение сдвига;

τ_0 – предел текучести;

k – коэффициент, зависящий от значения вершинного угла конуса; для металлического конуса с углом при вершине 30° – $k = 1,116$;

P – вес подвижной части прибора;

h – глубина погружения конуса в состав.

Водоудерживающую способность отделочных составов определяли в соответствии с ГОСТ 5802-86 «Растворы строительные. Методы испытания» [36].

Перед испытанием 10 листов промокательной бумаги размером 150×150 мм взвешивали с погрешностью до 0,1 г, укладывали на стеклянную пластинку размером 150×150 мм и толщиной 5 мм, на промокательную бумагу укладывали один слой марлевой ткани, сверху устанавливали металлическое кольцо с внутренним диаметром 100 мм и высотой 12 мм, и ещё раз взвешивали всю установку. Затем тщательно перемешанную растворную смесь укладывали вровень с краями металлического кольца, взвешивали и оставляли на 10 минут. После чего металлическое кольцо с раствором осторожно снимали вместе с марлей, а промокательную бумагу взвешивали с погрешностью до 0,1 г.

Водоудерживающую способность отделочной смеси определяли выраженным в процентах содержанием воды в пробе до и после эксперимента по формуле:

$$V = 100 - \left(\frac{m_2 - m_1}{m_4 - m_2} \right) * 100, \quad (2.2)$$

где m_1 – масса промокатальной бумаги до испытания, г;

m_2 – масса промокатальной бумаги после испытания, г;

m_3 – масса установки без растворной смеси, г;

m_4 – масса установки с растворной смесью, г.

Водоудерживающую способность отделочной смеси определяли дважды для каждой пробы и вычисляли как среднее арифметическое значение результатов двух определений, отличающихся между собой не более чем на 20% от меньшего значения.

2.3 Методика оценки физико-механических свойств ССС и покрытий на основе известкового отделочного состава

Определение средней плотности материала. При определении средней плотности образцы материала, предварительно подготовленные и высушенные до постоянной массы при температуре 105-110⁰С, взвешивали на весах с погрешностью 0,1 г. Объем образца определяли, пользуясь штангенциркулем. Каждую грань образца измеряли в трех местах. Окончательный размер каждой грани (a , b , c) вычисляли как среднее арифметическое трех измерений и считали объем образца по формуле

$$V = a * b * c, \quad (2.3)$$

Среднюю плотность исследуемого материала вычисляли по формуле

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (2.4)$$

где m – масса образца, г,

V – объем образца в естественном состоянии, см³.

Предел прочности при сжатии образцов определяли по ГОСТ 5802-86 «Растворы строительные. Методы испытаний» [36]. В качестве испытательного

оборудования для исследования прочности при сжатии образцов использовали испытательную машину типа «ИР 5057-50». В зависимости от вида использованного силового датчика «ИР 5057-50» диапазон измерения усилий составлял от 50 до 50000 Н с точностью до 1 Н (0,1 кгс). Встроенные регуляторы скорости перемещения траверсы позволяют задавать скорость приложения нагрузки от 1 до 100 мм/мин (по величине перемещения). Прочность при сжатии (МПа) образцов определяли по формуле

$$R_{сж} = \frac{P}{F}, \quad (2.5)$$

где P – разрушающая сила, Н;

F – площадь поперечного сечения образца до испытания, м².

Адгезионную прочность определяли по ГОСТ 15140-78* «Материалы лакокрасочные. Методы определения адгезии» [33]. Метод основан на определении силы отслаивания штампа от поверхности отрывом. Использовали штампы цилиндрической формы диаметром 18 мм, наклеенные эпоксидным клеем (ЭДП-ТУ 0751-018-48284381-00) на подложку. Устанавливали образец горизонтально, прикрепляя к штампу динамометр, и фиксировали силу, необходимую для отрыва штампа от испытуемого образца. Прочность сцепления отделочного состава с подложкой определяли по формуле

$$R_{сж} = \frac{P}{F}, \quad (2.6)$$

где P – сила отрыва, Н;

F – площадь контакта штампа с покрытием, м².

Усадочные деформации отделочных составов определяли с помощью оптического компаратора ИЗА-2 и вычисляли по формуле

$$\varepsilon = \frac{l_0 - l_i}{l_0} * 100\%, \quad (2.7)$$

где l_0 – длина образца (расстояние между реперами) в начальный период твердения, мм;

l_i – длина образца в промежуточные периоды твердения, мм.

Предел прочности при растяжении (когезионная прочность) проводили по ГОСТ 18299-72* [29] на разрывной машине ИР 5057-50. Метод основан на растяжении испытуемого образца до разрыва при скорости деформирования 1 мм/мин. Образцы исследуемых составов размерами 1×1×5 см закрепляли в зажимах разрывной машины так, чтобы его продольная ось была расположена в направлении растяжения, а приложенные силы действовали равномерно по всему сечению образца. Испытания проводили при температуре воздуха $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха 60%.

Расчёт когезионной прочности проводили по результатам испытания не менее четырех образцов каждого состава. Предел прочности при растяжении R_p , МПа (Н/мм²) для каждого образца вычисляли по формуле

$$R_p = \frac{F_{pi}}{S_{oi}}, \quad (2.8)$$

где F_{pi} – растягивающая нагрузка в момент разрыва, Н;

S_{oi} – начальная площадь поперечного сечения образца, мм².

Модуль упругости вычислялся по диаграмме «напряжение-деформация» по тангенсу угла наклона к оси абсцисс касательной (Z), проведенной к начальному прямолинейному участку диаграммы.

Модуль упругости для каждого образца ($E_{упр}$) в МПа вычислялся по формуле

$$E_{упр} = \frac{R'_{kogi}}{\varepsilon_i} * 100, \quad (2.9)$$

где R'_{kogi} – предел прочности при растяжении в момент отрыва касательной от диаграммы «напряжение-деформация», МПа;

ε_i – относительное удлинение при разрыве, мм/мм.

Внутренние напряжения, возникающие в процессе твердения отделочного слоя, определяли по следующей методике [53]. На диск из алюминиевой фольги диаметром 120 мм и толщиной 0,01 мм наносили отделочные составы толщиной 8 мм. На свободной стороне диска наклеивали тензодатчик с базой 10 мм, показания которого фиксировались микропроцессорной многоканальной

тензометрической системой ММТС – 64.01. Величину напряжений определяли по формуле

$$\tau_0 = 2 * \frac{(1-\mu_1) * h_2}{h_1} * E * \varepsilon, \quad (2.10)$$

где μ_1 - коэффициент Пуассона;

h_1 - толщина отделочного слоя, м;

h_2 - толщина подложки, м;

E - модуль упругости подложки, МПа;

ε - относительная деформация подложки.

2.4 Методика оценки гидрофизических свойств покрытий на основе отделочных составов

Паропроницаемость определяли количеством водяных паров, прошедших через 1 см² поверхности отделочного слоя толщиной δ за время τ при температуре 20±2°С. На слой марли наносили исследуемый состав, после отверждения, которого марлю закрепляли на стакане, в котором создавали 100%-ную относительную влажность воздуха. Марлю закрепляли на стакане с помощью смазывания краев стакана по окружности парафином. Взвешенный стакан помещали в эксикатор, в котором создавали 60%-ную относительную влажность воздуха. Периодически взвешивали стакан до того момента, пока масса стакана с затвердевшим слоем отделочного состава стала постоянной величиной.

Коэффициент паропроницаемости (мг/м·ч·Па) определяли по формуле

$$\mu = \frac{P * \delta}{F * (E * \varepsilon_{60}) * \tau}, \quad (2.11)$$

где P – общее количество паров воды, перемещающейся путём диффузии через слой отделочного состава, соответствующее увеличению массы плёнки за время испытаний, мг;

δ – толщина отделочного слоя, м;

F – площадь отделочного слоя, м²;

E – парциальное давление водяного пара при влажности 100%, Па, (упругость водяного пара);

e_{60} – парциальное давление водяного пара при влажности 60%, Па, (упругость водяного пара);

τ – продолжительность испытания, ч.

Кинетику водопоглощения покрытий на основе сухой смеси определяли по ГОСТ 5802-86 «Растворы строительные. Методы испытаний» [36].

Образцы, предварительно высушивали до постоянной массы, помещали в ёмкость, наполненную водой. При этом температура воды в ёмкости составляла $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$. Образцы взвешивали с интервалом в 1 час на обычных весах с погрешностью не более 0,1%. При взвешивании образцы, вынутые из воды, предварительно вытирали отжатой влажной тканью. Масса воды, вытекшая из пор образца на чашку весов, включали в массу насыщенного образца. Испытание проводили до тех пор, пока результаты двух последовательных взвешиваний отличались не более, чем на 0,1%. Водопоглощение отдельного образца по массе W_m в процентах определяли по формуле

$$W_m = \frac{m_{\text{в}} - m_{\text{с}}}{m_{\text{с}}} * 100\%, \quad (2.12)$$

где $m_{\text{с}}$ – масса высушенного образца, г;

$m_{\text{в}}$ – масса водонасыщенного образца, г.

Водопоглощение при капиллярном подсосе определяли по ГОСТ 31356-2007 [32]. Использовали формы для изготовления образцов-балочек размером 40x40x160 мм. По истечении 28 суток торцевые грани образцов-балочек размером 40x40x160 мм обрабатывали штукатурной теркой для получения шероховатой поверхности.

Боковые грани образцов-балочек покрывали водонепроницаемым составом (расплавленным парафином, эпоксидной смолой и др.). Подготовленные образцы-балочки взвешивали с погрешностью $\pm 0,01$ г (масса). Линейные размеры увлажняемой торцевой грани измеряли штангенциркулем с погрешностью $\pm 0,1$ мм.

Образцы помещали торцевой гранью в ванну на сетчатую подставку. Ванну заполняли водой температурой $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ так, чтобы торец был погружен в воду на 5-10 мм. Уровень воды в ванне поддерживали постоянным в течение всего времени испытания. Через 24 часа образцы извлекали из воды, удаляли с поверхности образцов избыток воды влажной тканью и взвешивали с погрешностью $\pm 0,01$ г (масс).

Водопоглощение при капиллярном подсосе определяли по формуле

$$W_{\text{кп}} = k_w \frac{m_2 - m_1}{S}, \quad (2.13)$$

где m_1 – масса сухого образца, кг;

m_2 – масса образца после насыщения водой, кг;

S – площадь увлажняемой грани образца, м;

k_w – коэффициент, учитывающий время насыщения образца и равный $\frac{1}{\sqrt{24}}$, ч^{0.5}.

2.5 Прочие методы исследований

Истинную плотность определяли с помощью прибора Ле-Шателье. Прибор наполняли обезвоженным керосином до нижней нулевой риски (по нижнему мениску), после чего верхнюю свободную от керосина часть прибора протирали тампоном из фильтровальной бумаги. Исследуемый материал перед испытанием высушивали в сушильном шкафу при температуре $105-110^\circ\text{C}$ до постоянной массы. На технических весах в стаканчике взвешивали навеску исследуемого материала с погрешностью не более 0,01 г. Порошок аккуратно высыпали в колбу Ле-Шателье ложечкой через воронку небольшими порциями до тех пор, пока уровень жидкости в приборе не достигнет одного из делений в пределах верхней градуированной части. Остаток материала со стаканчиком взвешивали. Определяли уровень жидкости в приборе. Разность отсчетов между конечным и начальным уровнями жидкости соответствует объему высыпанного порошка $V(\text{см}^3)$. Истинную плотность исследуемого материала ρ вычисляли по формуле

$$\rho = \frac{(m_2 - m_1)}{V}, \quad (2.14)$$

где m_1 – первоначальная масса порошка со стаканчиком, г;

m_2 – масса остатка порошка со стаканчиком, г;

V – объем жидкости, вытесненной всыпанным материалом, см³.

Насыпную плотность порошков определяли с использованием сосуда вместимостью 1000 см³. Пробу материала массой насыпали в стандартную воронку. Предварительно взвешенный мерный сосуд помещали под воронку и заполняли порошком с небольшим избытком. После заполнения сосуда деревянной линейкой осторожно срезали излишек порошка на уровне с краями сосуда. Затем сосуд с порошком взвешивали и, вычитая из полученного результата массу сосуда, находили массу порошка. Насыпную плотность материала $\rho_{\text{нас}}$ (г/см³) вычисляли по формуле

$$\rho_{\text{нас}} = \frac{m}{V}, \quad (2.15)$$

где m – масса материала, г;

V – объем сосуда, см³.

Кинетику связывания оксида кальция CaO определяли титрованием навески извести соляной кислотой до тех пор, пока все активные частицы CaO не будут нейтрализованы кислотой. Для этого предварительно измельчали, просеивали через сито № 008 и высушивали до постоянной массы навеску извести массой 1 г, которую помещали в коническую колбу 250 мл, добавляли 150 мл дистиллированной воды, закрывали часовым стеклом и нагревали в течение 5-7 мин, не доводя до кипения. После остывания добавляли 2-3 капли однопроцентного спиртового раствора фенолфталеина и титровали 1н раствором соляной кислоты до полного обесцвечивания содержимого. Титрование производили медленно, с добавлением кислоты по каплям. Титрование заканчивали, если в течение 8 минут при периодическом взбалтывании раствор оставался бесцветным. Количество активной окиси кальция определяли по формуле:

$$CaO_{\text{акт}} = \frac{V * 2,804 * K}{m} * 100\%, \quad (2.16)$$

V – количество 1н раствора соляной кислоты, израсходованного на титрование, мл;

2,804 – количество CaO, соответствующее 1 мл 1н раствора соляной кислоты;

K – поправка к титру 1н раствора соляной кислоты;

m – навеска извести, г.

Определение гранулометрического состава песка проводили путем отсева песка на стандартном наборе сит.

Высушенную до постоянной массы навеску песка просеивали через набор сит с круглыми отверстиями диаметром 2,5 мм и с сетками № 1,25; 063; 0315 и 016.

Просеивание производили ручным способом. Окончание просеивания определяли интенсивным встряхиванием каждого сита над листом бумаги. Просеивание считалось законченным, если при этом практически не наблюдалось падения зерен песка.

По результатам просеивания вычисляли частный остаток на каждом сите a_i по формуле

$$a_i = \frac{m_i}{m} * 100\%, \quad (2.17)$$

где m_i - масса остатка на данном сите, г;

m - масса просеиваемой навески, г;

Полный остаток на каждом сите (A_i) в процентах вычисляли по формуле

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + \dots + a_i, \quad (2.18)$$

где $a_{2,5}$, $a_{1,25}$, a_i - частные остатки на соответствующих ситах.

Определение межзерновой пустотности песка в стандартном неуплотненном состоянии определяли на основании значений истинной плотности и насыпной плотности песка.

Межзерновая пустотность песка ($V_{мп}$) в процентах по объему вычислялся по формуле

$$V_{мп} = \left(1 - \frac{\rho_{нас}}{\rho_{ист}}\right) * 100\%, \quad (2.19)$$

где $\rho_{\text{нас}}$ – насыпная плотность песка, г/см³;

$\rho_{\text{ист}}$ – истинная плотность песка, г/см³.

Морозостойкость отделочного покрытия на основе сухой смеси производили путем попеременного оттаивания и замораживания отделочного слоя, нанесенного на цементно-песчаное основание, после 28 суток воздушно-сухого твердения. После каждого цикла производили визуальный осмотр поверхности с целью обнаружения трещин, крошения, отслаивания материала в соответствии с ГОСТ 10060-2012 [27]. Критерий отказа принимался согласно ГОСТ 6992-68 [37] (таблица 2.14, 2.15).

Таблица 2.14 – Устойчивость декоративного вида покрытия в атмосферных условиях

| Баллы | Виды разрушений | | | | |
|-------|------------------|-------------------------------|-------------|--------------------------------------|----------------|
| | потеря блеска, % | изменение цвета | бронзировка | белесоватость | грязеудержание |
| V | До 5 | Едва заметное | Отсутствие | | |
| IV | До 20 | Незначительные | | | |
| III | До 50 | Значительные | | | |
| II | До 80 | Сильное | Сильная | Сильная Пятна по всей поверхности | Сильное |
| I | Свыше 80 | Полная потеря основного цвета | Сильная | Сильная | Сильное |

Таблица 2.15 – Определение защитных свойств покрытия

| Балл | Виды разрушений | | | | |
|------|-----------------|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| | меление | растрескивание | выветривание | отслаивание | сыпь |
| 8 | отсутствие | | | | |
| 7 | едва заметно | отсутствие | | | |
| 6 | слабое | видное при 12-кратном увеличении | отсутствие | | |
| 5 | среднее | видное невооруженным глазом, до 5% | отсутствие | | |
| 4 | среднее | то же, до 25% | отсутствие | | сыпь до 25% |
| 3 | значительное | то же, до 50% | верхнего слоя до 5% | верхнего слоя до 5% | сыпь до 50% |
| 2 | сильное | то же, свыше 50% | до просвечивания подложки до 10% | от грунта или от подложки до 10% | сыпь свыше 50% |
| 1 | очень сильное | глубокие трещины свыше 10% | то же, свыше 10% | то же, свыше 10% | то же, пузыри свыше 10% |

За «отказ» принималось состояние покрытия, оцененное III.4 баллами (таблица 2.14, 2,15).

Оценку фазового состава порошков выполняли с помощью рентгенофазового анализ РФА. Для съемки рентгенограмм порошков использовали рентгеновскую рабочую станцию ARL 9900 WorkStation.

Дифференциально-термический анализ выполняли с помощью установки «Термоскан-2». Термический анализ (ТА) порошков проводили в интервале температур 20-1000°C в атмосфере воздуха при скорости нагрева 5°C/мин.

Для изучения структуры исследуемых порошков применяли сканирующий растровый электронный микроскоп Shanning Electron Microscope JSM – 6390 LV. Съемка проводилась в режиме низкого вакуума при давлении P= 50 Па.

2.6 Статистическая обработка результатов испытаний

Для оценки достоверности полученных экспериментальных данных проводили их статистическая обработка [35].

Для оценки точности измерений определялись абсолютная и относительная погрешности Δx_i и ε , которые определялись по формулам

$$\Delta x_i = x - x_i, \quad (2.20)$$

$$\varepsilon = \pm \frac{\Delta x}{\bar{x}} * 100\%, \quad (2.21)$$

Подозрительные результаты определяли с помощью критерия Шофене. Сущность расчета заключалась в следующем. Производили n измерений x_1, x_2, \dots, x_n одной и той же величины x . Учитывая все n измерений, вычисляли среднее арифметическое значение и среднеквадратические отклонения.

Среднее арифметическое значение \bar{x} вычисляли по формуле

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (2.22)$$

Среднеквадратической отклонение измерений прочности при сжатии определяли по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}, \quad (2.23)$$

где x_i – среднее арифметическое значение прочности при сжатии n -го испытания.

Если один из результатов измерения отличался от \bar{x} настолько, что представляется подозрительным $x_{\text{под}}$ то вычисляли число стандартных отклонений t , на которое $x_{\text{под}}$ отличается от \bar{x}

$$t = \frac{x_{\text{под}} - \bar{x}}{\sigma_x}, \quad (2.24)$$

Находили вероятность P того, что нормальное измерение будет отличаться от \bar{x} на t . Затем определяли число ожидаемых измерений n , которые дают столь же плохие результаты, как $x_{\text{под}}$:

$$n = N * P, \quad (2.25)$$

Если $n < 1/2$, то $x_{\text{под}}$ не удовлетворяет критерию Шофене и отвергается.

Коэффициент вариации рассчитывали по формуле

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100, \quad (2.26)$$

При нормальном законе распределения с учетом заданного коэффициента надежности α и вероятности P значения доверительных интервалов покрывающих параметр α рассчитывали по формуле

$$P\left(\bar{x} - t \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < a < \bar{x} + t \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) = 2\Phi = \alpha, \quad (2.27)$$

где n – объем выборки;

t – такое значение аргумента функции Лапласа $\Phi(t)$, при котором $\Phi(t) = \alpha/2$.

При этом точность оценки составляла:

$$\delta = \frac{t\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (2.28)$$

Для доказательства того, что распределение является нормальным, применялся критерий Пирсона, определяемый по формуле:

$$\chi^2 = \sum [(n_i - n'_i)^2 / n'_i], \quad (2.29)$$

где n_i – эмпирические частоты;

n'_i – теоретические частоты.

Глава 3. Структура и свойства добавки на основе гидросиликатов кальция для сухих строительных смесей

3.1 Разработка технологии синтеза добавки на основе гидросиликатов кальция для сухих строительных смесей

В проведенных ранее исследованиях была подтверждена эффективность введения в рецептуру отделочных известковых сухих строительных смесей (ССС) модифицирующих добавок на основе синтезированных гидросиликатов кальция (ГСК), позволяющих получить ССС с более высокими эксплуатационными свойствами [70, 71, 72, 135]. Известковые составы с применением синтезированных гидросиликатов кальция образуют покрытия повышенной водостойкости с коэффициентом размягчения, равным $K_{разм}=0,68-0,73$, водопоглощением, равным $W=10\%$, и морозостойкостью не менее 35 циклов.

Одним из известных наиболее оптимальных режимов синтеза гидросиликатов является осаждение в присутствии 15%-ного раствора $CaCl_2$ в количестве 50% от массы жидкого натриевого стекла [68, 89].

Методом рентгенофазового анализа авторами было установлено, что степень закристаллизованности невысокая, образуются гидросиликаты кальция различной основности [66, 68, 140]. Учитывая нестабильность высокоосновных гидросиликатов кальция и то, что низкоосновные гидросиликаты кальция обладают большей прочностью, актуальным является разработка технологии синтеза добавок на основе гидросиликатов кальция, содержащих в большем количестве низкоосновные гидросиликаты кальция.

Известная технология синтеза добавки на основе ГСК осуществлялась при соотношении C/S , равном $C/S=1,5$.

По данным [70, 110] низкоосновные гидросиликаты кальция образуются при соотношении C/S , равном $C/S=0,5-1,33$. В связи с этим для получения соотношения $C/S=0,5-1,33$ при синтезе добавки использовали вещества, содержащие аморфный кремнезем, в частности, диатомит и микрокремнезем.

Технология синтеза добавки на основе ГСК заключалась в следующем. К раствору жидкого стекла добавлялась суспензия вещества, содержащего аморфный кремнезем, после перемешивания вводился раствор CaCl_2 в количестве 50% от массы жидкого стекла. Полученную смесь отфильтровывали и высушивали до постоянной массы при температуре 100°C . Высушенную добавку измельчали.

При разработке технологии синтеза модифицирующей добавки на основе ГСК учитывались следующие факторы:

- концентрация раствора CaCl_2 ;
- количество и вид материала, содержащего аморфный кремнезем;
- вид жидкого стекла;
- модуль жидкого натриевого стекла;
- плотность жидкого натриевого стекла.

При выборе оптимального режима синтеза добавки в качестве критерия применяли предел прочности при сжатии известкового композита, так как в дальнейшем предполагается использование добавки в известковых системах.

В работе применялась известь-пушонка, приготовленная на извести второго сорта с активностью 86%. Для сравнения изготавливались образцы, приготовленные с применением диатомита в количестве 30% от массы извести. Готовились составы с водоизвестковым отношением В/И=1,2. В возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения определяли предел прочности при сжатии.

Из таблицы 3.1 видно, что предел прочности при сжатии $R_{сж}$ известковых образцов с добавками на основе ГСК, синтезированными в присутствии диатомита, выше и находится в интервале – $R_{сж}=5,7-7,59$ МПа, в то время как у известковых образцов с добавками ГСК, синтезированными в присутствии микрокремнезема, находится в интервале – $R_{сж}=3,925-2,95$ МПа. Прочность при сжатии известковых образцов, приготовленных на основе диатомита (без добавки ГСК) $R_{сж}=3,25\pm 0,090$ МПа (таблица 3.1). Таким образом, в дальнейших исследованиях при синтезе добавки на основе ГСК в качестве материала,

содержащего аморфный кремнезем, использовали диатомит Инзенского месторождения.

Установлено, что предел прочности при сжатии известковых образцов при введении в их рецептуру добавки на основе гидросиликатов кальция, синтезированной без материала, содержащего аморфный кремнезем (диатомит, микрокремнезем), составляет $R_{сж}=4,7\pm 0,136$ МПа (таблица 3.1). Предел прочности при сжатии контрольного состава (без добавок ГСК) составляет $R_{сж}=2,1\pm 0,142$ МПа.

Выявлено, что предел прочности при сжатии известковых образцов с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной с добавлением диатомита, при соотношении фаз твердая:жидкая Т:Ж = 1:2 (0,5) выше и составляет $R_{сж}=7,59\pm 0,188$ МПа (таблица 3.1), в то время как у известковых образцов с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной с добавлением диатомита, при соотношении фаз Т:Ж = 1:6 (0,16), – $5,7\pm 0,143$ МПа (таблица 3.1). Исходя из экспериментальных данных, в дальнейших исследованиях при синтезе добавки на основе гидросиликатов кальция вводили диатомит при соотношении фаз Т:Ж= 1:2 (0,5).

При выборе вида жидкого стекла выявлено, что наибольшее значение прочности при сжатии известковых образцов достигается, если при синтезе добавки на основе гидросиликатов кальция используется жидкое натриевое стекло (таблица 3.1). Так, у известковых образцов с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии жидкого натриевого стекла, предел прочности при сжатии составляет $R_{сж}=7,59\pm 0,188$ МПа. Однако, если при синтезе добавки использовалась калиевое жидкое стекло с модулем $M=2,9$, то прочность при сжатии известковых образцов при введении в их состав добавки ГСК в 1,32 раза меньше, чем у известковых образцов с добавкой, синтезированной в присутствии жидкого натриевого стекла. Таким образом, в дальнейших исследованиях при синтезе добавки на основе гидросиликатов кальция использовали жидкое натриевое стекло.

Таблица 3.1 – Предел прочности при сжатии известковых образцов с добавками в количестве 30% от массы извести, В/И=1,2

| Режим синтеза добавки | Прочность при сжатии известковых образцов, $R_{сж}^*$, МПа |
|--|---|
| Контрольный состав (без добавки ГСК) | 2,1±0,142 |
| Осаждение в присутствии 10%-ного раствора $CaCl_2$ в количестве 50% от массы жидкого натриевого стекла с добавлением диатомита, при этом соотношение Т:Ж = 1:2 (0,5) | 7,59±0,188 |
| Осаждение в присутствии 10%-ного раствора $CaCl_2$ в количестве 50% от массы жидкого натриевого стекла с добавлением микрокремнезема, при этом соотношение Т:Ж = 1:2 (0,5) | 3,925±0,088 |
| Осаждение в присутствии 10%-ного раствора $CaCl_2$ в количестве 50% от массы жидкого натриевого стекла с добавлением диатомита, при этом соотношение Т:Ж = 1:6 (0,16) | 5,7±0,143 |
| Осаждение в присутствии 10%-ного раствора $CaCl_2$ в количестве 50% от массы жидкого натриевого стекла с добавлением микрокремнезема, при этом соотношение Т:Ж= 1:6 (0,16) | 2,95±0,068 |
| Осаждение в присутствии 10%-ного раствора $CaCl_2$ в количестве 50% от массы жидкого калиевого стекла с добавлением | 5,725±0,056 |

| | |
|--|-------------|
| диатомита, при этом соотношение Т:Ж = 1:2 (0,5) | |
| Осаждение в присутствии 10%-ного раствора CaCl ₂ в количестве 50% от массы монасила Na с добавлением диатомита, при этом соотношение Т:Ж= 1:2 (0,5) | 4,375±0,123 |
| Осаждение в присутствии 10%-ного раствора CaCl ₂ в количестве 50% от массы монасила K с добавлением диатомита, при этом Т:Ж = 1:2 (0,5) | 3,75±0,247 |
| Осаждение в присутствии 15%-ного раствора CaCl ₂ в количестве 50% от массы жидкого натриевого стекла | 4,91±0,256 |
| Осаждение в присутствии 10%-ного раствора CaCl ₂ в количестве 50% от массы жидкого натриевого стекла | 4,7±0,136 |
| Диатомит | 3,25±0,090 |

Примечание*. Значения прочности при сжатии указаны с учетом доверительного интервала при надежности 0,95

Использование в процессе синтеза добавки ГСК вместо жидкого стекла продуктов монасила натрия и монасила калия приводит к снижению активности добавки и не приводит к значительному росту прочности при сжатии известковых образцов. Прочность при сжатии находится в интервале – $R_{сж}=3,75-4,375$ (таблица 3.1).

В работе был изучен режим синтеза добавок на основе гидросиликатов кальция в присутствии поверхностно-активных веществ (ПАВ). Применяли 2%-ный раствор сульфанола, 2%-ный раствор С-3, 2%-ный раствор Edaplan 915. Результаты исследований приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Прочность при сжатии известковых образцов с добавками, синтезированными в присутствии ПАВ, В/И=1,2

| Режим синтеза добавки | Прочность при сжатии известковых образцов, $R_{сж}^*$, МПа |
|--|---|
| Контрольный состав (без добавок ГСК) | 2,1±0,142 |
| Содержание $CaCl_2$ при синтезе добавки составляло 50% от массы жидкого стекла в виде 10%-ного раствора с добавлением 2%-ного раствора С-3 | 3,125±0,078 |
| Содержание $CaCl_2$ при синтезе добавки составляло 50% от массы жидкого стекла в виде 10%-ного раствора с добавлением 2%-ного раствора сульфанола | 3,68±0,081 |
| Содержание $CaCl_2$ при синтезе добавки составляло 50% от массы жидкого стекла в виде 10%-ного раствора с добавлением 2%-ного раствора Edaplan 915 | 3,95±0,231 |

Примечание*. Значения прочности при сжатии указаны с учетом доверительного интервала при надежности 0,95

Установлено, что у известковых образцов с добавками ГСК, синтезированными в присутствии ПАВ, прочность при сжатии находится в интервале – $R_{сж}=3,125-3,95$ МПа (таблица 3.2). Однако, если при синтезе добавки ГСК использовался диатомит при соотношении Т:Ж=1:2, то прочность при сжатии известковых образцов в 1,92-2,42 раза больше, чем у известковых образцов с добавкой, синтезированной в присутствии ПАВ.

Анализ экспериментальных данных показал, что максимальный предел прочности при сжатии известковых образцов наблюдается с добавкой,

синтезированной в присутствии 10%-ного раствора CaCl_2 и диатомита при соотношении фаз Т:Ж = 1:2 (0,5), – $R_{сж} = 7,59 \pm 0,188$ МПа. (таблица 3.1).

В работе исследовалось влияние содержания добавки ГСК на предел прочности при сжатии известковых образцов. Количество добавки варьировалось от 10 до 30% от массы извести. В возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения определяли прочность при сжатии. Результаты исследований приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Прочность при сжатии известковых составов с разным процентным содержанием добавки на основе ГСК

| Состав | Прочность при сжатии, $R_{сж}^*$ МПа |
|--|---|
| Контрольный состав (без добавок ГСК) | 2,1±0,142 |
| Содержание синтезируемой добавки ГСК в количестве 10% от массы извести | 4,2±0,234 |
| Содержание синтезируемой добавки ГСК в количестве 20% от массы извести | 4,865±0,025 |
| Содержание синтезируемой добавки ГСК в количестве 30% от массы извести | 7,59±0,188 |

Примечание*. Значения прочности при сжатии указаны с учетом доверительного интервала при надежности 0,95

Анализ экспериментальных данных, приведенных в таблице 3.3, показал, что применение в рецептуре известковых составах добавки на основе ГСК, синтезируемой в присутствии диатомита, в количестве 10-30% от массы извести приводит к повышению прочности при сжатии известковых образцов в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения на 80–261% по сравнению с образцами на основе контрольных составов (без добавки). Установлено, что наибольшей

прочностью при сжатии обладают известковые образцы, приготовленные с добавкой ГСК в количестве 30% от массы извести. Таким образом, в дальнейших исследованиях в рецептуру известковых образцов вводили добавку гидросиликатов кальция, синтезированную в присутствии диатомита, в количестве 30% от массы извести.

Изучалось влияние модуля жидкого натриевого стекла, используемого при синтезе добавки на основе гидросиликатов кальция, на ее активность, оцененную по показателю предела прочности при сжатии известковых образцов (таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Влияние режима синтеза добавки на прочность при сжатии известковых образцов

| Модуль жидкого натриевого стекла | Прочность при сжатии, $R_{сж}^*$, МПа |
|----------------------------------|--|
| 2,7 | 7,105±0,367 |
| 2,8 | 7,33±0,239 |
| 2,9 | 7,59±0,188 |

Примечание*. Значения прочности при сжатии указаны с учетом доверительного интервала при надежности 0,95

Увеличение модуля жидкого стекла приводит к повышению прочности при сжатии известковых образцов (таблица 3.4). Так, при применении при синтезе добавки ГСК жидкого натриевого стекла с модулем $M=2,9$ прочность при сжатии известковых образцов составляет $R_{сж}=7,59±0,188$ МПа, а при применении жидкого натриевого стекла с модулем $M=2,8$ и $M=2,7$ – соответственно $R_{сж}=7,33±0,239$ МПа и $R_{сж}=7,105±0,367$ МПа.

Установлено, что максимальная прочность известковых образцов с добавкой на основе синтезированных ГСК, составляющая $R_{сж}=7,59±0,188$ МПа, наблюдается при плотности жидкого стекла, используемого при синтезе добавки, равной $\rho=1368$ кг/м³.

Для оптимизации режима синтеза добавки на основе гидросиликатов кальция, синтезированной с применением диатомита, в работе был спланирован полный

двухфакторный эксперимент с квадратичной моделью [3, 40, 47, 80]. Параметром оптимизации был выбран предел прочности при сжатии известковых образцов.

Таблица 3.5 – Прочность известковых образцов с добавкой на основе гидросиликатов кальция

| Плотность жидкого стекла, кг/м ³ | Прочность при сжатии известковых образцов, $R_{сж}^*$, МПа |
|--|--|
| 1368 | 7,59±0,188 |
| 1279 | 7,44±0,154 |
| 1180 | 7,34±0,018 |
| 1113 | 7,16±0,084 |
| 1038 | 7,04±0,055 |

Примечание*. Значения прочности при сжатии указаны с учетом доверительного интервала при надежности 0,95

В качестве факторов были приняты процентное содержание CaCl_2 (x_1) и соотношение твердая:жидкая фаза Т:Ж (x_2).

В таблице 3.6 представлены условия изменения переменных.

Таблица 3.6 – Условия изменения переменных

| Уровни факторов | Факторы | |
|-----------------------|--|--|
| | Процентное содержание раствора CaCl_2 (x_1), % | Соотношение твердая:жидкая фаза Т:Ж (x_2) |
| Верхний уровень | 15 | 0,4 |
| Нижний уровень | 5 | 0,6 |
| Основной уровень | 10 | 0,5 |
| Интервал варьирования | 5 | 0,1 |

В таблице 3.7 представлена матрица планирования эксперимента.

В результате обработки полученных экспериментальных данных была получена квадратичная модель:

$$R_{\text{сж}} = -14,419 + 1,8716x_1 + 47,6x_2 - 0,0855x_1^2 - 47,6x_2^2 \quad (3.1)$$

Таблица 3.7 – Матрица планирования эксперимента

| № опыта | x_1 | x_2 |
|---------|--------|--------|
| 1 | -1 | -1 |
| 2 | +1 | -1 |
| 3 | -1 | +1 |
| 4 | +1 | +1 |
| 5 | -1,414 | 0 |
| 6 | +1,414 | 0 |
| 7 | 0 | -1,414 |
| 8 | 0 | +1,414 |
| 9 | 0 | 0 |

Адекватность модели проверялась по критерию Фишера [101, 122]. Выбранная модель адекватно описывает исследуемую систему, так как табличное значение критерия Фишера, равное 3,5, оказалось больше расчетного значения 3,1. Однородность дисперсий оценивалась по критерию Кохрена. Расчетное значение критерия, равное 0,11, меньше табличного значения 0,66.

Значимость коэффициентов в модели (3.1) проверялась по критерию Стьюдента при уровне значимости 0,07 [141]. Значимость коэффициентов уравнения регрессии (3.1) свидетельствует о существенном влиянии концентрации добавки-осадителя и соотношении Т:Ж на параметр оптимизации.

Графическая интерпретация полученной модели представлена на рисунке 3.1.

При анализе полученной квадратичной модели были найдены точки экстремума. Оптимальный режим синтеза добавки на основе гидросиликатов кальция, синтезированной с применением диатомита, соответствует введению хлорида кальция в виде 10%-15%-ного раствора и при соотношении Т:Ж, равном 1:2 (0,5).

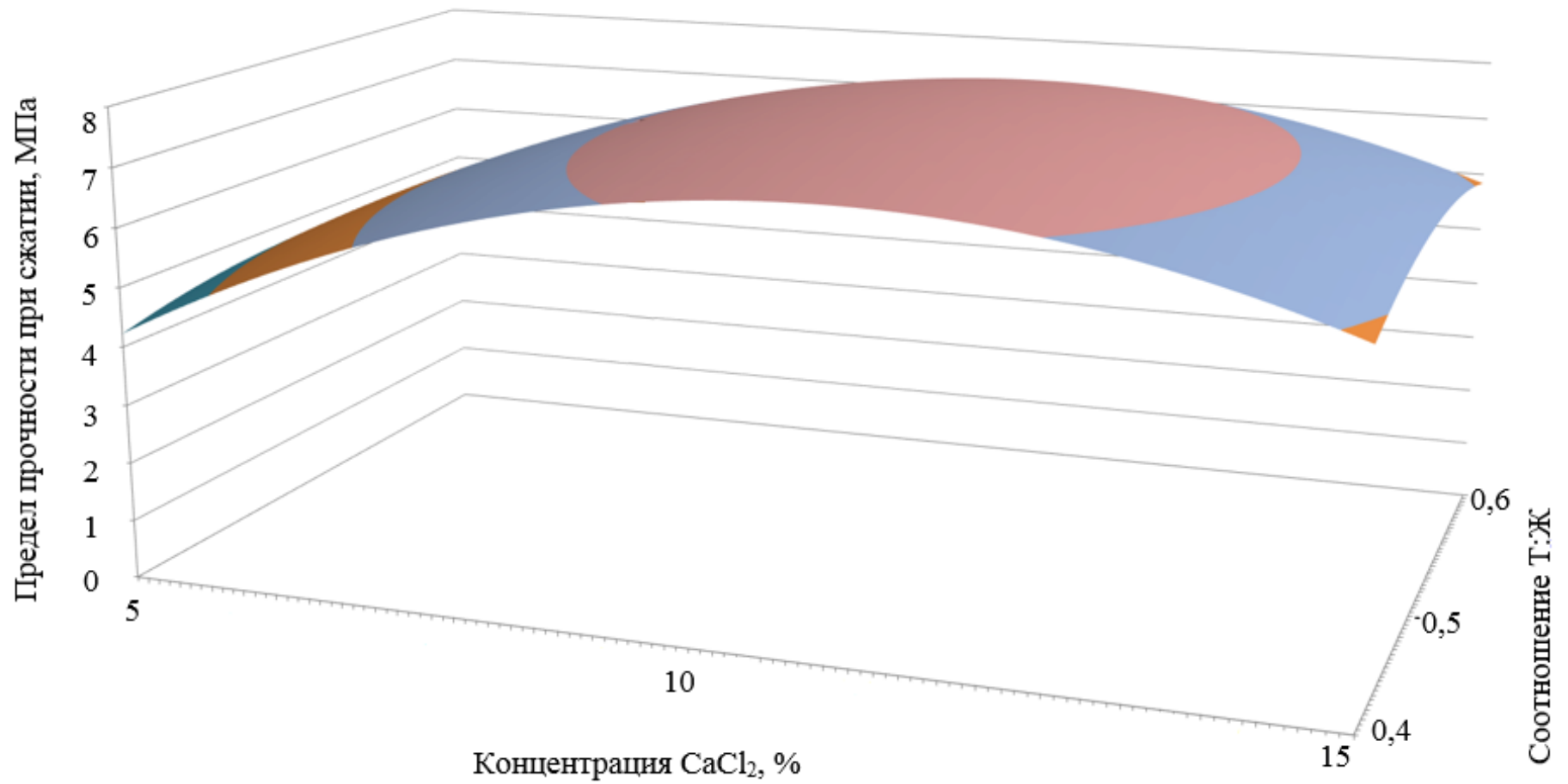


Рисунок 3.1 – Зависимость прочности при сжатии известковых образцов от технологических факторов синтеза добавки на основе ГСК

3.2 Свойства добавки на основе гидросиликатов кальция

Добавка на основе гидросиликатов кальция, синтезированная в присутствии диатомита, характеризуется истинной плотностью, равной $\rho_{ист}=2200$ кг/м³, насыпной плотностью – $\rho_{нас}=370$ кг/м³ и активностью $A=370$ мг/г.

При оценке элементного состава добавки гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита, установлено, что преобладает кремний, составляющий 35,25 % (таблица 3.8).

В таблице 3.8, 3.9 представлен химический состав добавки, синтезированной в присутствии диатомита.

Таблица 3.8 – Элементный состав добавки на основе ГСК, синтезированной в присутствии диатомита

| Наименование Элемента | Содержание, % |
|--------------------------|------------------|
| Si | 35,25 |
| Ca | 13,53 |
| Al | 2,37 |
| Na | 3,67 |
| Fe | 1,05 |

Таблица 3.9 – Оксидный состав добавки на основе ГСК, синтезированной в присутствии диатомита

| Наименование оксида | Содержание, % |
|--------------------------------|------------------|
| SiO ₂ | 70,81 |
| CaO | 17,95 |
| Al ₂ O ₃ | 2,49 |
| Na ₂ O | 3,09 |
| Fe ₂ O ₃ | 1,51 |

При изучении оксидного состава добавки ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, установлено, что преобладают оксиды кремнезема, составляющие 70,81% (таблица 3.9).

Эксплуатационные свойства композиционных материалов, какими являются ССС, определяются в числе других факторов тонкостью помола добавки и его гранулометрическим составом. В связи с этим в работе был определен гранулометрический состав добавки ГСК, синтезированной в присутствии диатомита (таблица 3.10).

Анализ гранулометрического состава выполнялся с помощью автоматического лазерного дифрактометра Fritsch Particle Sizer Analysette 22.

Таблица 3.10 – Гранулометрический состав добавок ГСК

| Фракция, мкм | Процентное содержание, % |
|-----------------|-----------------------------|
| 0,05-1,000 | 0,58/0,95* |
| 1,000-2,000 | 0,86/1,70 |
| 2,000-3,000 | 1,71/2,47 |
| 3,000-4,000 | 1,40/2,69 |
| 4,000-5,000 | 1,72/2,81 |
| 5,000-10,000 | 8,30/12,87 |
| 10,000-20,000 | 18,90/18,45 |
| 20,000-45,000 | 34,56/34,58 |
| 45,000-100,000 | 31,97/23,48 |

Примечание*. Над чертой приведены значения содержания фракций при синтезе добавки ГСК без диатомита, под чертой – при синтезе добавки ГСК в присутствии диатомита.

Анализ гранулометрического состава показал, что содержание частиц размером 45,000-100,000 мкм у добавки, синтезированной без диатомита, выше и составляет 31,97%, в то время как у добавки, синтезированной в присутствии диатомита, – 23,48% (таблица 3.10).

Структура синтезируемых добавок ГСК и диатомита изучалась с помощью сканирующего растрового электронного микроскопа Shanning Electron Microscope JSM – 6390 LV [2].

На рисунках 3.2-3.4 представлены микроstructures синтезируемых добавок на основе ГСК и диатомита.

При оценке структур исследуемых материалов установлено, что структура диатомита характеризуется микротрещиноватостью, свидетельствующей о его коллоидной природе (рисунок 3.2) [52, 63, 129].

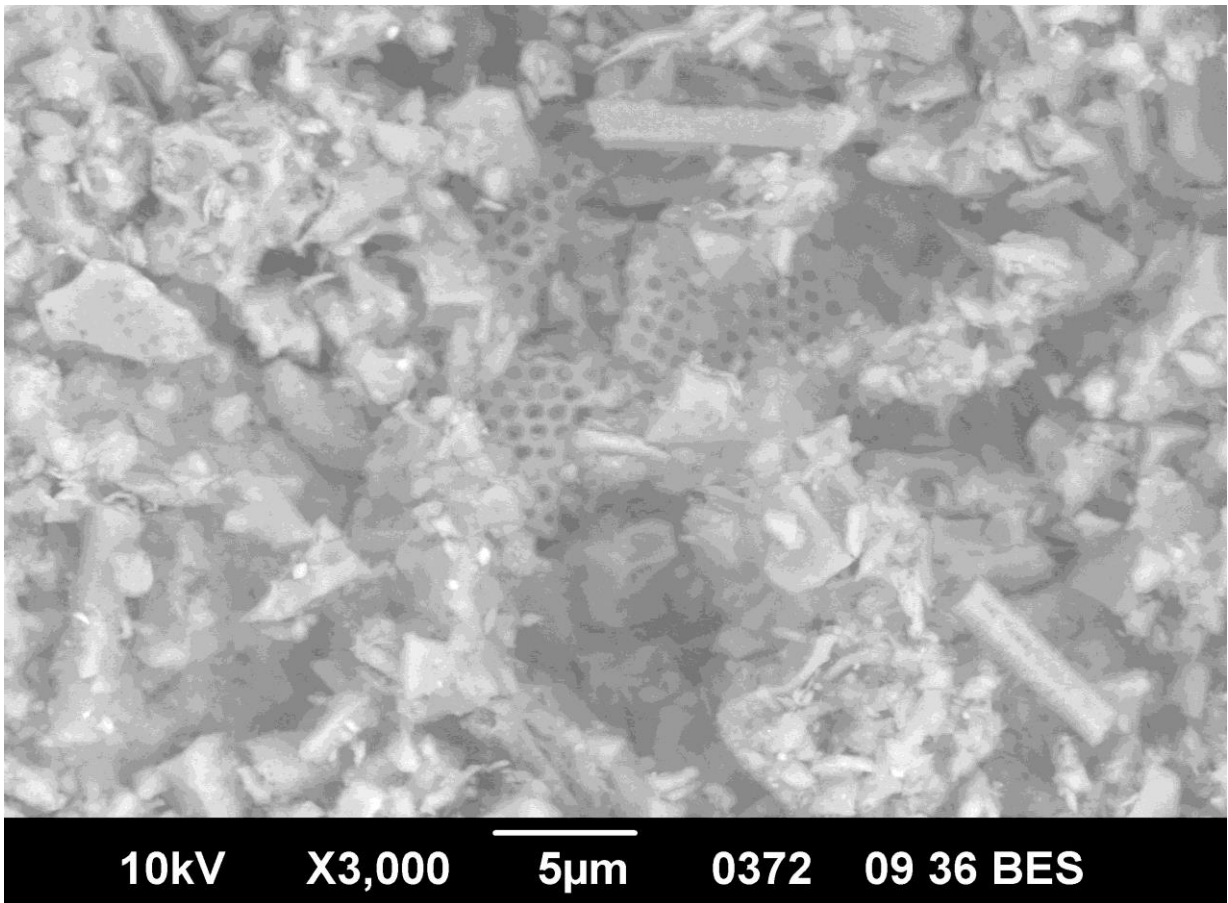


Рисунок 3.2 – Изображение структуры диатомита, х 3000

Структура добавки на основе гидросиликатов кальция, которая синтезировалась без применения диатомита, представлена образованиями разной формы пластинчатой и игольчатой, соответствующей гидросиликатам кальция (рисунок 3.3) [117, 118, 127, 134].

При изучении структуры добавки на основе ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, наблюдаются новообразования пластинчатой формы, что характерно для низкоосновных гидросиликатов кальция (рисунок 3.4) [136].

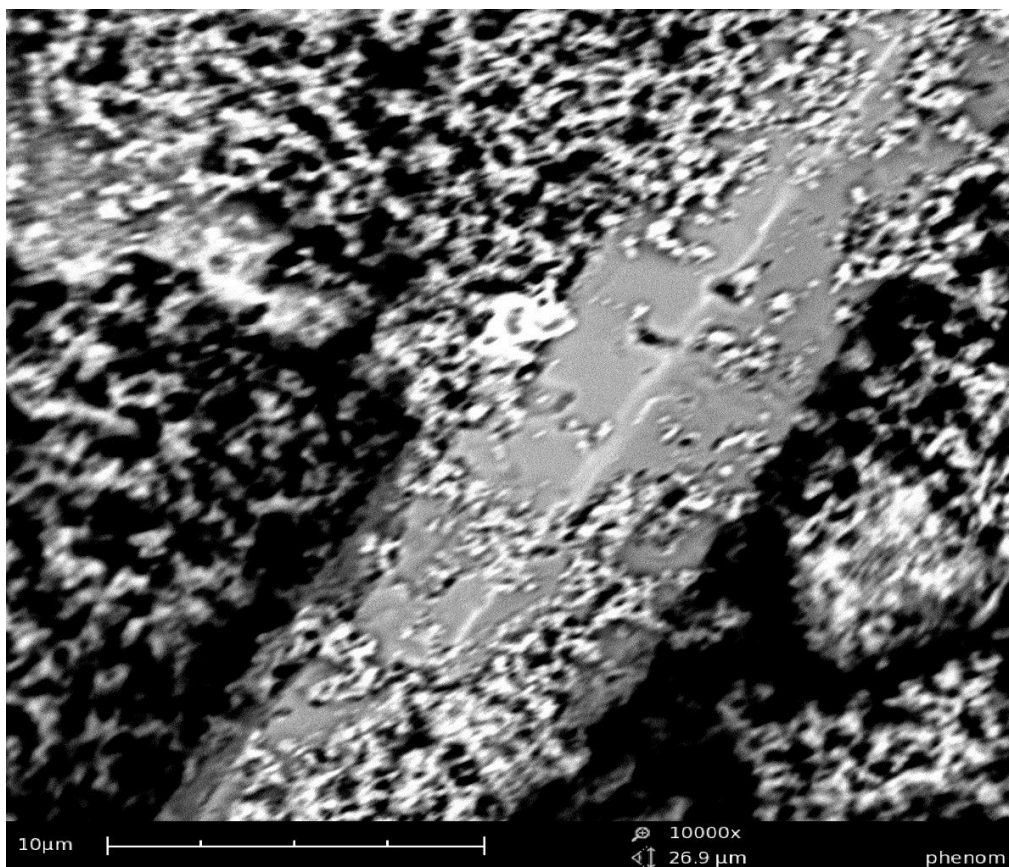


Рисунок 3.3 – Изображение структуры добавки ГСК, без диатомита, x2500

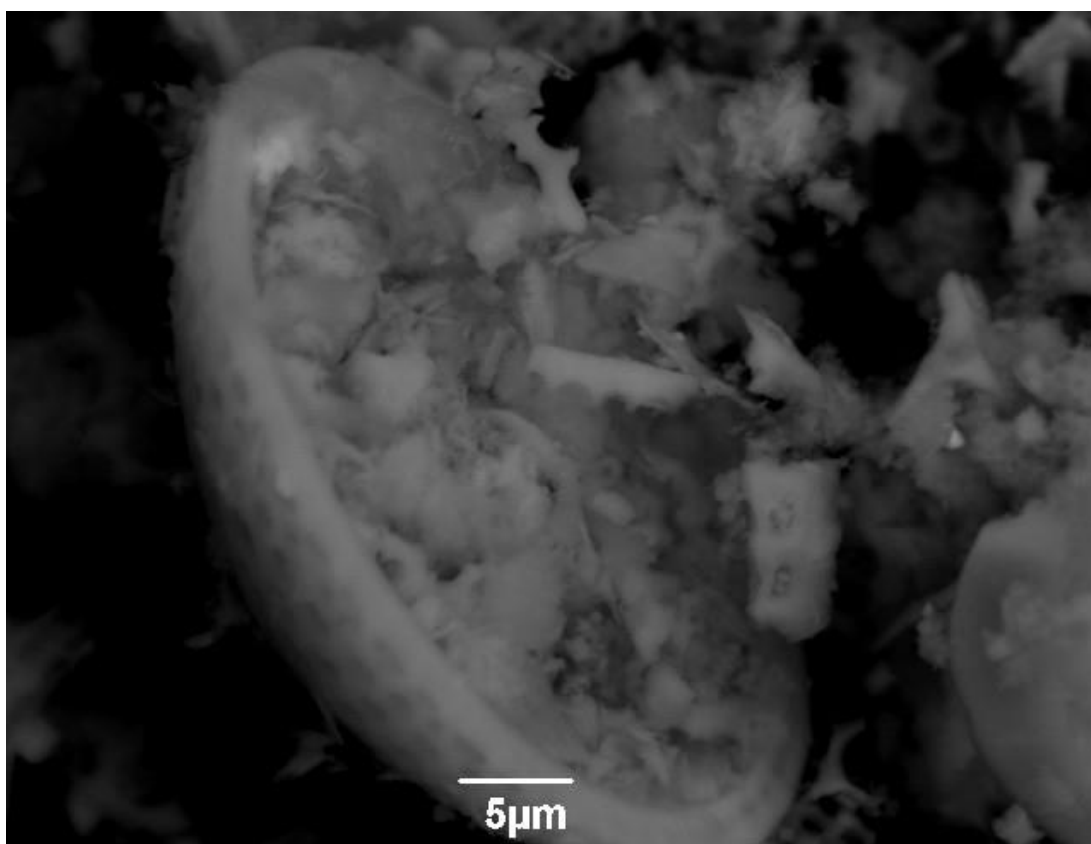


Рисунок 3.4 – Изображение структуры добавки, синтезированной в присутствии диатомита, x 3000

Для оценки фазового состава синтезируемых добавок на основе гидросиликатов кальция был выполнен рентгенофазовый анализ РФА [10, 14, 26, 48]. Для съемки рентгенограмм образцов использовалась рентгеновская рабочая станция ARL 9900 Work Station.

На рисунках 3.5-3.7 представлены рентгенограммы синтезируемых добавок на основе гидросиликатов кальция и диатомита.

Установлено, что на рентгенограммах образцов добавок гидросиликатов кальция, синтезированных без диатомита, присутствуют дифракционные линии (Å) следующих минералов: гидросиликаты кальция тоберморитовой группы ($d = 10,13059$; $d = 3,58269$; $d = 3,25556$; $d = 2,82163$; $d = 2,4662$; $d = 2,28271$; $d = 2,20517$; $d = 1,2618$); твердый раствор CSH(B) в виде слабозакристаллизованного геля: ($d = 4,76541$; $d = 3,03952$; $d = 2,82163$); твердый раствор C–S–H (II): ($d = 2,22058$; $d = 2,06213$; $d = 1,87721$; $d = 1,41032$; $d = 1,6293$; $d = 1,41012$); гидрогалиты: ($d = 3,85831$; $d = 1,99449$; $d = 1,62748$); кальцит: ($d = 3,85831$; $d = 3,03952$; $d = 1,41032$), арагонит: ($d = 1,87721$; $d = 1,29764$) (рисунок 3.5).

При синтезе добавки на основе гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита, идентифицируются следующие минералы: гидросиликаты кальция тоберморитовой группы ($d=8,631$; $d=3,76$; $d=2,90$); твердый раствор C–S–H (II): ($d = 19,011$; $d=9,421$; $d=4,133$; $d=2,812$; $d=1,831$; $d=1,404$); кварц ($d=3,342$; $d=1,547$; $d=2,126$; $d=1,972$); каолинит ($d=4,17526$; $d=3,391105$); гидрогалиты ($d=2,428$; $d=2,623$; $d = 1,934$) (рисунок 3.6).

На рентгенограмме диатомита присутствуют дифракционные линии (Å) следующих соединений: кварц ($d= 4,242$; $d= 3,338$; $d= 1,540$; $d = 1,254$; $d=2,128$); каолинит ($d = 4,487$; $d= 3,3265$; $d= 1,9803$); андрадит ($d= 2,4555$; $d= 1,666$; $d= 1,370$); монтичеллит ($d= 2,571$; $d = 1,181$; $1,380$) (рисунок 3.7) [62].

Анализ рентгенограммы добавки ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, показал наличие большего количества более интенсивных пиков, относящихся к низкоосновным гидросиликатам кальция, по сравнению с данными РФА добавки ГСК, синтезированной без диатомита.

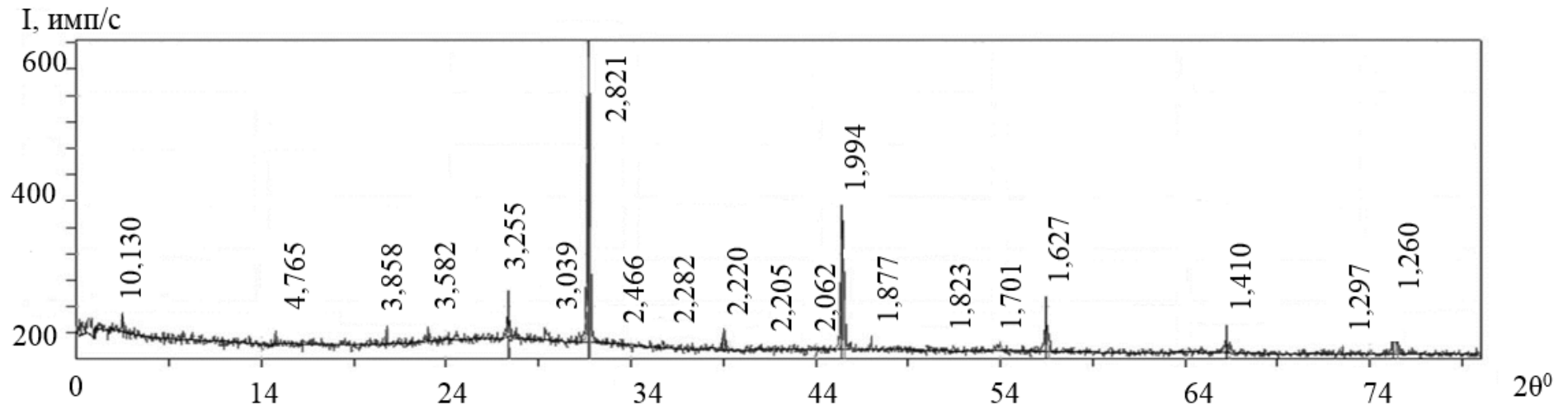


Рисунок 3.5 – Рентгенограмма добавки, синтезированной в присутствии 15%-ного раствора CaCl_2 в количестве 50% от массы жидкого стекла

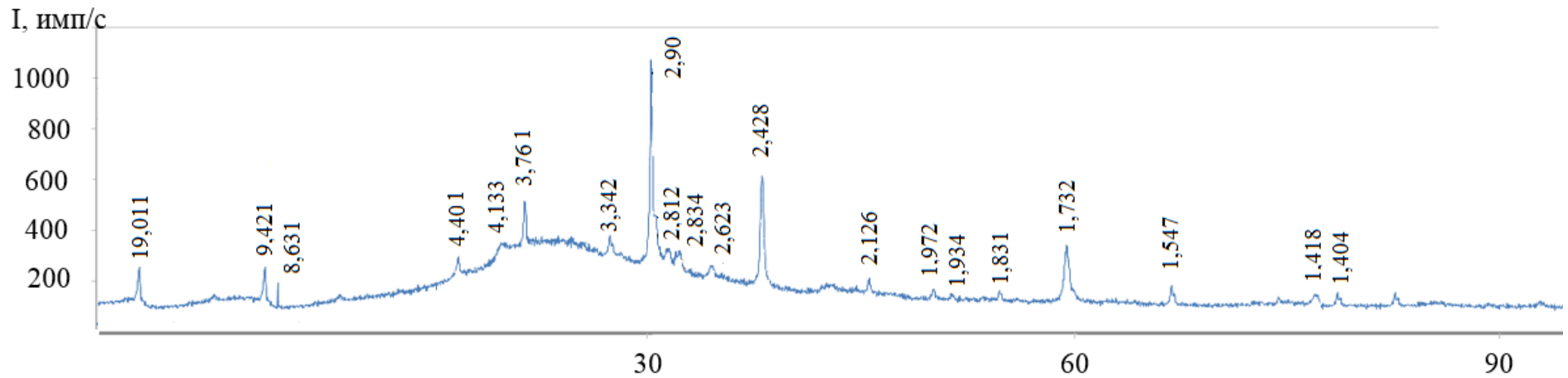


Рисунок 3.6 – Рентгенограмма добавки ГСК, синтезированной в присутствии диатомита

Полученные экспериментальные данные нашли дополнительное подтверждение при проведении дифференциально-термического анализа с помощью установки «Термоскан-2» [7].

На рисунке 3.8 приведены термограммы синтезированных добавок на основе гидросиликатов кальция.

Выявлено, что эндотермический эффект при нагреве до 250°C обусловлен удалением свободной воды из гидросиликатов кальция. Из рисунка 3.8 видно, что эндотермический эффект при нагревании добавки на основе гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита, меньше и составляет $Q = -2,047$ Дж (рисунок 3.8, кривая 2), в то время как у добавки на основе гидросиликатов кальция, синтезированной без диатомита, – $-9,73$ Дж (рисунок 3.8, кривая 1).

Свыше 300°C происходит удаление химической связанной воды из гидросиликатов кальция. Эндотермический эффект при нагревании добавки на основе гидросиликатов кальция, синтезированной без применения диатомита, меньше и составляет $Q = -12,95$ Дж (рисунок 3.8, кривая 1), в то время как у добавки на основе гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита, – $-17,41$ Дж (рисунок 3.8, кривая 2), что, видимо, обусловлено большим содержанием гидросиликатов кальция в добавке, синтезированной в присутствии диатомита.

Результаты проведенных исследований показали, что добавки на основе ГСК обладают высокой активностью (таблица 3.11).

Установлено, что активность A и растворимость M добавки ГСК, синтезированной в присутствии 10%-ного раствора CaCl_2 с диатомитом выше и составляют $A=370$ мг/г, $M=70\%$ (таблица 3.12), чем у добавки ГСК, синтезированной в присутствии 15%-ного раствора CaCl_2 с диатомитом, – $A=350$ мг/г, $M=68\%$ (таблица 3.12). Активность и растворимость добавки ГСК, синтезированной в присутствии 15%-ного раствора CaCl_2 без диатомита составляет $A=320$ мг/г, $M=65\%$ (таблица 3.12). Активность и растворимость диатомита составляет $A=299$ мг/г, $M=299\%$ (таблица 3.11).

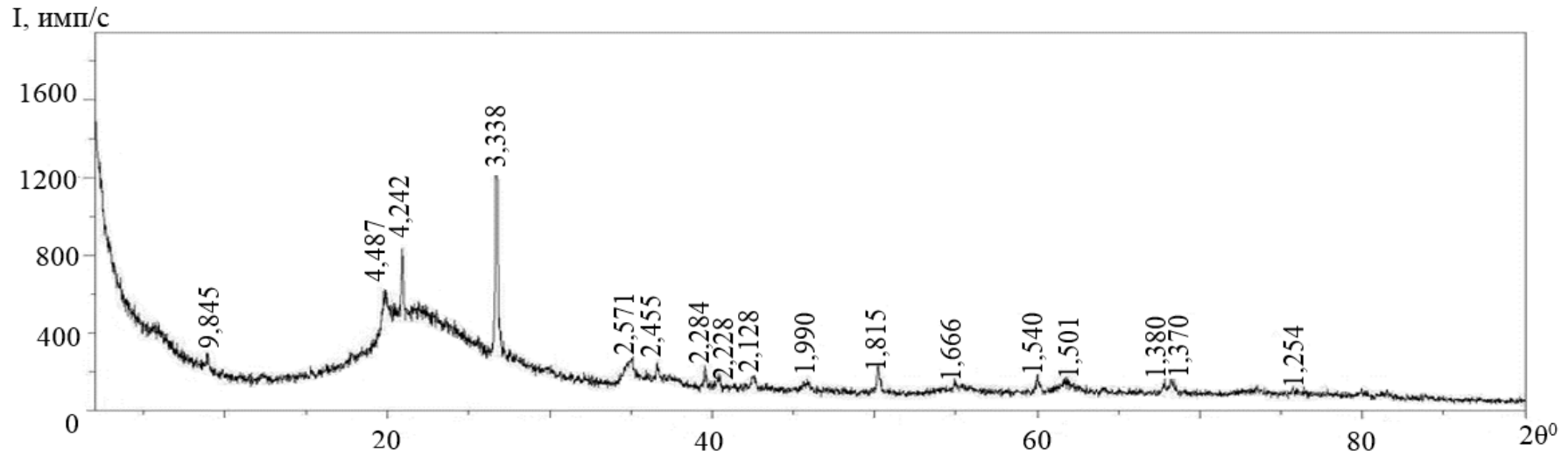


Рисунок 3.7 – Рентгенограмма диатомита

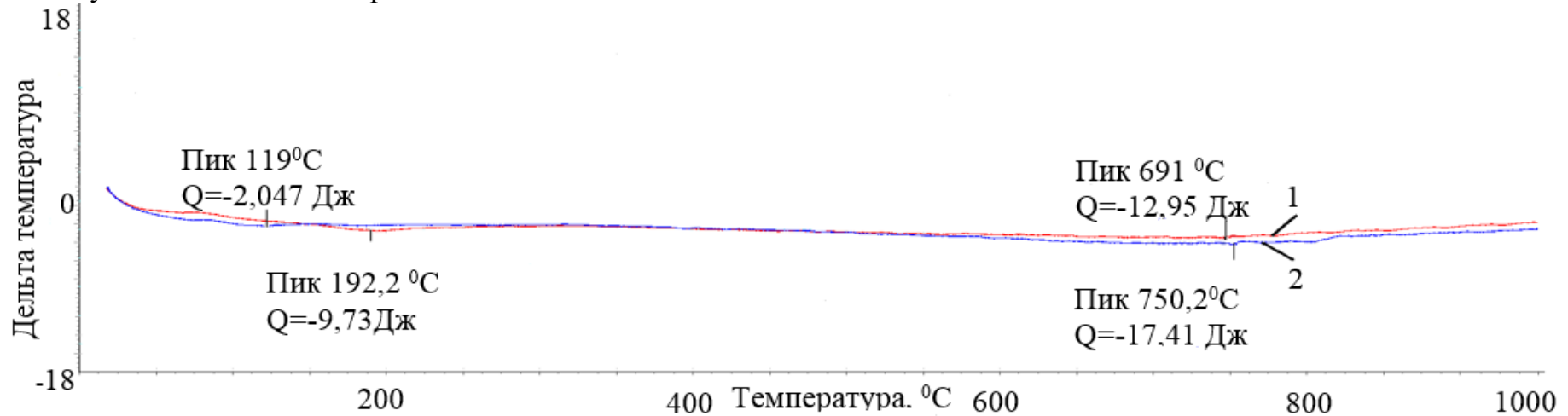


Рисунок 3.8 – Кривые дифференциально-термического анализа ГСК:

1 – синтезированных без применения диатомита;

2 – синтезированных в присутствии диатомита

В таблице 3.11 представлены значения активности и растворимости добавок на основе гидросиликатов кальция.

Таблица 3.11 – Влияние режима синтеза добавки на активность синтезированных гидросиликатов

| Режим синтеза | Растворимость <i>M</i> , % | Активность <i>A</i> , мг/г |
|--|-------------------------------|-------------------------------|
| Содержание CaCl ₂ при синтезе добавки составляло 50% от массы жидкого стекла в виде 15%-ного раствора | 65 | 320 |
| Содержание CaCl ₂ при синтезе добавки составляло 50% от массы жидкого стекла в виде 15%-ного раствора в присутствии диатомита в соотношении Т:Ж = 1:2 | 68 | 350 |
| Содержание CaCl ₂ при синтезе добавки составляло 50% от массы жидкого стекла в виде 10%-ного раствора в присутствии диатомита в соотношении Т:Ж = 1:2 | 70 | 370 |
| Диатомит | 61 | 299 |

Выводы к главе 3

1. Установлены закономерности синтеза добавки на основе гидросиликатов кальция. Выявлено, что применение диатомита при синтезе добавки ГСК приводит к увеличению предела прочности при сжатии известковых образцов.

Установлены оптимальные параметры синтеза добавки ГСК, заключающиеся в применении жидкого натриевого стекла с модулем 2,9 и плотностью $\rho=1368\text{кг/м}^3$, 10-15%-ого раствора CaCl_2 и диатомита в соотношении твердая:жидкая фаза Т:Ж=1:2.

2. Разработана модель параметров синтеза добавки ГСК, позволяющая оптимизировать расход хлорида кальция и диатомита для получения добавок ГСК, синтезируемых в присутствии диатомита.

3. Выявлено, что добавка на основе гидросиликатов, синтезированная в присутствии диатомита, характеризуется высокой активностью, составляющей $A=370$ мг/г. Установлен гранулометрический состав добавок ГСК, содержание частиц размером 45,000-100,000 мкм у добавки, синтезированной без диатомита, выше и составляет 31,97%, в то время как у добавки, синтезированной в присутствии диатомита, – 23,48%. Истинная плотность синтезированных гидросиликатов кальция составляет $\rho_{ист}=2200$ кг/м³, а насыпная $\rho_{нас}=370$ кг/м³. Выявлено, что в оксидном составе добавки ГСК преобладают оксиды кремнезема, составляющие 70,81%.

4. Методом РФА и ДТА установлено, что минералогический состав добавки ГСК, синтезированной с применением диатомита, представлен гидросиликатами кальция тоберморитовой группы, раствором С–S–Н(II), кварцем, каолинитом и гидрогалитами. Выявлено, что минералогический состав добавки ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, содержит большее количество пиков, относящихся к низкоосновным гидросиликатам кальция.

Глава 4. Разработка рецептуры отделочной известковой смеси с применением добавок на основе гидросиликатов кальция

4.1 Структурообразование известковых композиций в присутствии добавок на основе гидросиликатов кальция

Твердение извести обуславливается одновременным протеканием двух процессов: кристаллизации гидроксида кальция из насыщенного водного раствора и образованием карбоната кальция [107, 125, 130].

Кристаллы образующегося карбоната кальция срастаются друг с другом, с частицами гидроксида кальция и песка, обуславливая твердение. Объем твердой фазы увеличивается, что приводит к повышению уплотнения твердеющего раствора. Помимо карбоната кальция может образоваться соединение типа $\text{CaCO}_3 \cdot n\text{Ca(OH)}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ [92, 120, 133].

Процессы испарения влаги и карбонизации раствора протекают достаточно медленно. Карбонизация раствора захватывает в основном поверхностные слои, что обусловлено небольшим содержанием углекислого газа в воздухе (0,03%) и большой плотностью пленки образующегося карбоната, которая сильно затрудняет дальнейшее проникание углекислоты к внутренним слоям раствора. В связи с этим в центральной части хорошо уплотнённых растворов длительное время сохраняется большое количество Ca(OH)_2 [14, 103, 128, 147]. Таким образом, процесс твердения извести протекает медленно, и прочность известковых композитов невысокая.

Введение в известь добавок на основе ГСК приводит к ускорению процесса твердения и повышению прочности известковых образцов. Добавки на основе ГСК обладают высокой активностью и, взаимодействуя с известью, образуют смесь низкоосновных и высокоосновных гидросиликатов, улучшающих сцепление извести с заполнителем [72]. Однако, как показали исследования, известковые композиты с добавкой ГСК обладают недостаточной водостойкостью [90, 91, 92].

Для изучения закономерностей формирования структуры и свойств известковых образцов с применением добавок на основе ГСК, синтезированных в присутствии диатомита, использовали известь-пушонку 2-го сорта, приготовленную на извести с активностью 86%. Ранее проведенные эксперименты (глава 3) показали, что оптимальное содержание ГСК составляет 30% от массы извести. Для сравнения готовились известковые образцы, приготовленные с применением диатомита в количестве 30% от массы извести. Готовились смеси с водоизвестковым отношением В/И=1,2.

На рисунке 4.1 приведены кривые кинетики набора прочности известковых композитов. Точками на рисунках обозначены экспериментальные значения предела прочности при сжатии известковых образцов.

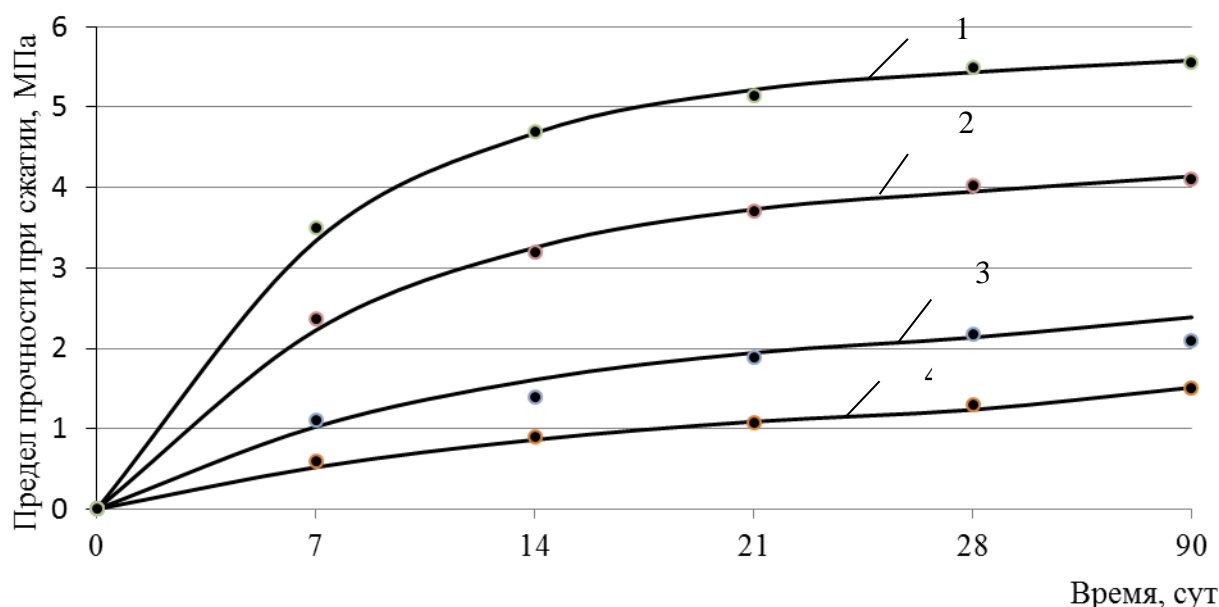


Рисунок 4.1 – Кинетика твердения известковых композитов, В/И = 1,2:

1 – известковый состав с применением добавки ГСК, синтезированной в присутствии диатомита;

2 – известковый состав с применением добавки ГСК, синтезированной без диатомита;

3 – известковый состав с диатомитом (без добавок гидросиликатов кальция);

4 – контрольный состав (без добавок ГСК).

Исходя из экспериментальных исследований (рисунок 4.1), следует, что у известковых образцов с добавкой ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, прочность при сжатии выше и составляет на 28 сутки воздушно-сухого твердения $R_{сж}=5,5\pm 0,076$ МПа (рисунок 4.1, кривая 1), чем с добавкой ГСК, синтезированной без диатомита, – $R_{сж}= 4,025\pm 0,188$ МПа (рисунок 4.1, кривая 2).

Производилась аппроксимация данных с помощью программы Curve Expert 1.3. Кривые, представленные на рисунке 4.1, описываются экспоненциальным уравнением:

$$y = a(1 - e^{-bx}), \quad (4.1)$$

где a – константа, учитывающая максимально-возможную прочность при сжатии;

b – константа скорости структурообразования;

x – время твердения.

Значения констант a и b приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1–Значения констант уравнения кинетики набора прочности

| Состав | a , МПа | b , час ⁻¹ |
|--|-----------|-------------------------|
| Контрольный | 1,52 | 0,06 |
| Диатомит | 2,39 | 0,08 |
| Известковый состав с добавкой на основе ГСК, синтезированной без диатомита | 4,14 | 0,11 |
| Известковый состав с добавкой на основе ГСК, синтезированной в присутствии диатомита | 5,58 | 0,13 |

Анализ результатов расчета свидетельствует, что у известковых образцов с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита, значение константы скорости структурообразования выше и

составляет $0,13 \text{ час}^{-1}$ по сравнению с известковыми образцами с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной без диатомита, $-0,11 \text{ час}^{-1}$.

Для оценки фазового состава известковых образцов, приготовленных с применением добавок ГСК и диатомита, в работе был выполнен рентгенофазовый анализ РФА [26].

На рисунках 4.2, 4.3, 4.4 изображены рентгенограммы известковых образцов с добавками на основе гидросиликатов кальция и диатомита.

Установлено, что на рентгенограммах известковых образцов с добавкой на основе ГСК, синтезированной без диатомита, присутствуют дифракционные линии (\AA) следующих минералов: гидросиликаты кальция CSH (I) и CSH (II): ($d = 8,672$; $d = 6,511$; $d = 2,833$; $d = 2,929$; $d = 1,998$); портландит: ($d = 4,928$; $d = 2,633$; $d = 1,799$; $d = 1,689$); кальцит: ($d = 3,867$; $d = 3,048$; $d = 2,501$; $d = 2,101$; $d = 1,92$; $d = 1,879$) (рисунок 4.2).

На рентгенограммах известковых образцов с добавкой на основе ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, идентифицируются следующие соединения: гидросиликаты кальция CSH (I) и CSH (II): ($d = 4,676$; $d = 3,877$; $d = 2,922$; $d = 2,831$; $d = 2,431$; $d = 2,091$; $d = 1,998$); портландит: ($d = 4,913$; $d = 3,10$; $d = 2,640$; $d = 1,794$; $d = 1,687$; $d = 1,483$); кальцит ($d = 3,036$; $d = 2,420$; $d = 2,286$; $d = 1,913$; $d = 1,879$; $d = 1,421$), кварц ($d = 3,394$; $d = 3,345$) (рисунок 4.3).

На рентгенограмме известково-диатомитовых образцов (без добавок гидросиликатов кальция) представлены дифракционные линии (\AA) следующих соединений: кварц ($d = 4,290$; $d = 3,353$; $d = 2,456$; $d = 2,283$; $d = 1,542$; $d = 1,383$); портландит ($d = 4,902$; $d = 3,110$; $d = 2,634$; $d = 1,928$; $d = 1,481$; $d = 1,314$); кальцит ($d = 3,042$; $d = 1,875$; $d = 1,449$) [7] (рисунок 4.4).

Анализ рентгенограмм известковых образцов (рисунок 4.2-4.4), свидетельствует, что минералогический состав известковых образцов с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита, характеризуется большим количеством пиков гидросиликатов кальция.

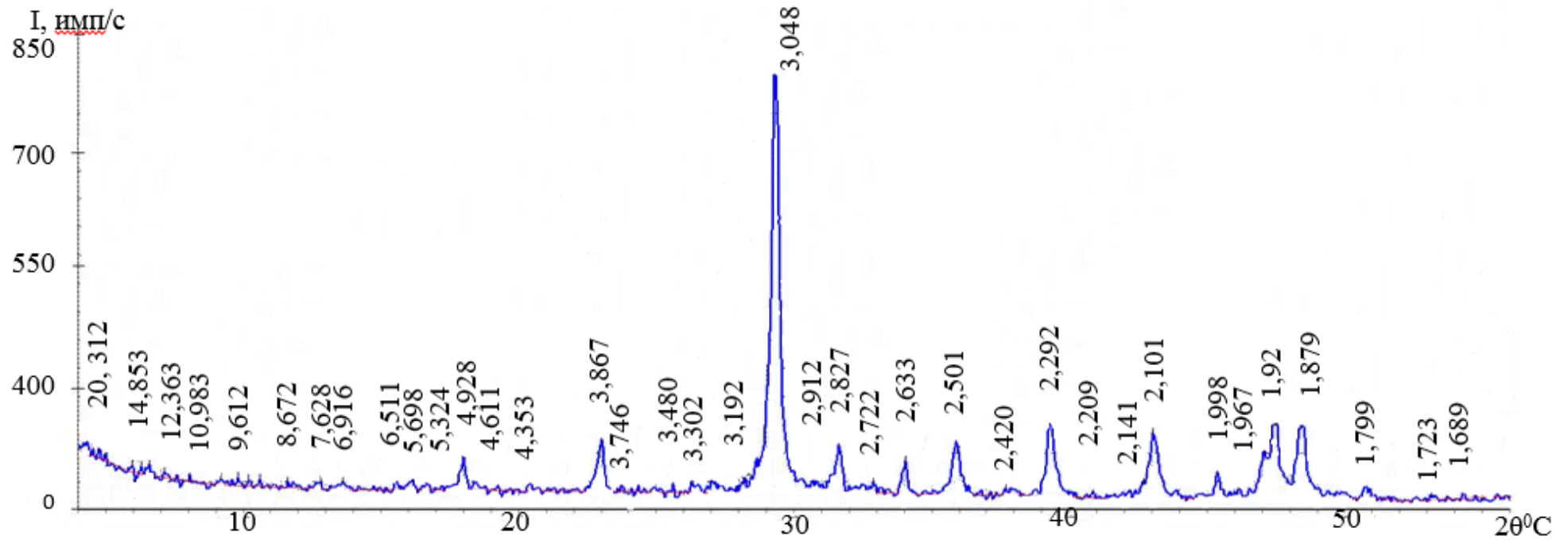


Рисунок 4.2 – Рентгенограмма известковых образцов с добавкой на основе ГСК, синтезированной без диатомита

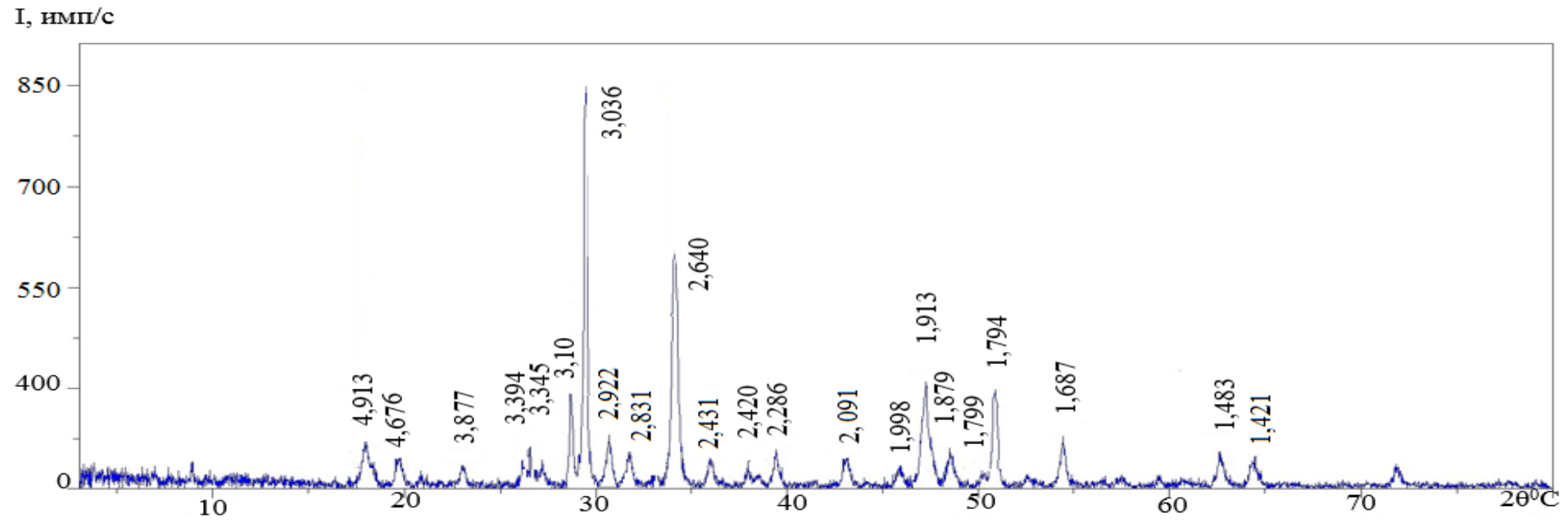


Рисунок 4.3 – Рентгенограмма известковых образцов с добавкой ГСК, синтезированной в присутствии диатомита

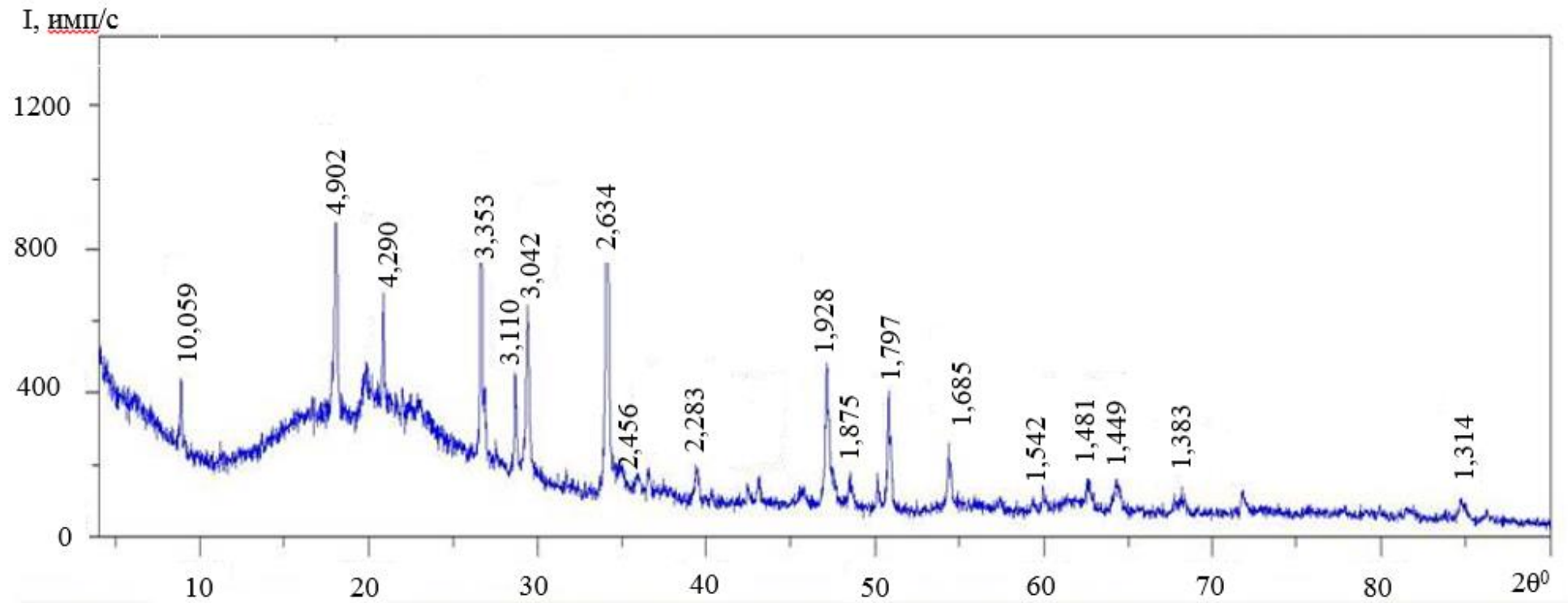


Рисунок 4.4 – Рентгенограмма известково-диатомитовых образцов (без добавок ГСК)

Дополнительно для оценки структурообразования известковых составов с применением добавок ГСК было определено количество свободной извести СаО в процессе твердения известковых образцов. На рисунке 4.5 приведены данные, характеризующие изменение свободной извести в процессе твердения известковых образцов.

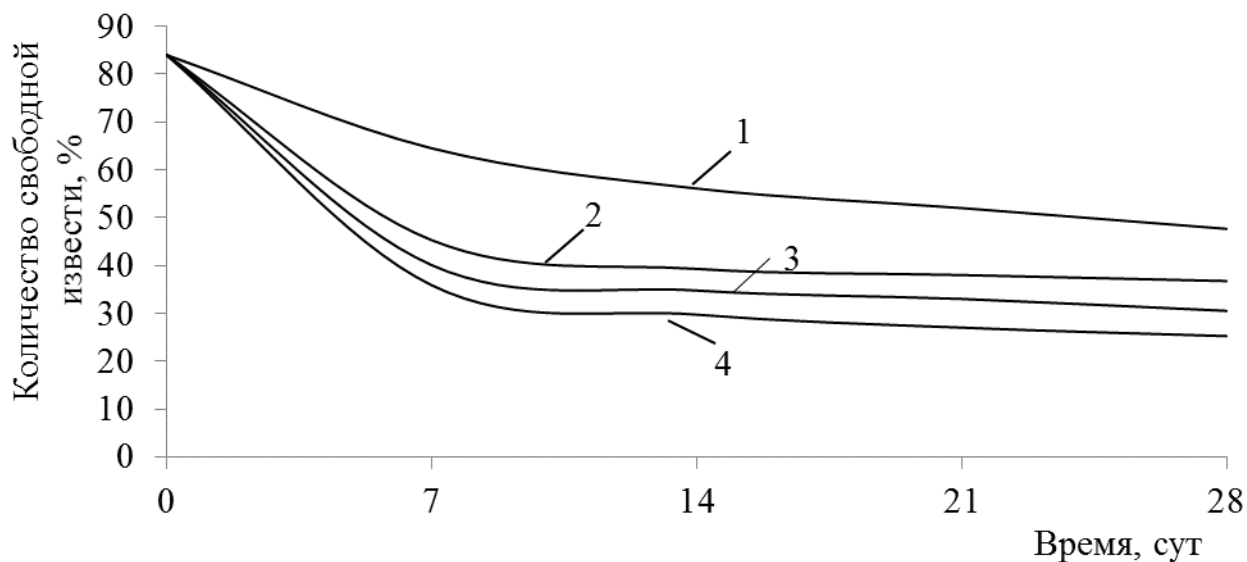


Рисунок 4.5 – Изменение количества свободной извести в процессе твердения известковых образцов:

- 1 – контрольный состав (без добавок ГСК);
- 2 – известковые образцы с диатомитом (30% от массы извести);
- 3 – известковые образцы с добавкой ГСК, синтезированной без диатомита;
- 4 – известковые образцы с добавкой ГСК, синтезированной в присутствии диатомита.

Выявлено, что известковые образцы на основе ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, характеризуются меньшим количеством свободной извести. В контрольных образцах в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения количество химически свободной извести составляет 47,66% (рисунок 4.5, кривая 1). Количество химически свободной извести у известковых образцов на основе добавки, синтезированной в присутствии диатомита, ниже и составляет 25,23% (рисунок 4.5, кривая 4), в то время как у известковых образцов на основе добавки ГСК, синтезированной без диатомита, – 36,73% (рисунок 4.5, кривая 3).

Полученные данные нашли дополнительное подтверждение при проведении дифференциально-термического анализа с помощью установки «Термоскан-2» [7]. Термический анализ (ТА) известковых образцов проводили в интервале температур 20-1000°C в атмосфере воздуха при скорости нагрева 5°C/мин. На рисунке 4.6, 4.7 приведены термограммы известковых образцов.

Выявлено, что эндотермический эффект при нагреве до 100°C обусловлен удалением свободной воды в известковых составах. Из рисунков 4.6, 4.7 видно, что эндотермический эффект при нагревании известковых образцов с добавкой на основе ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, меньше и составляет $Q = -0,64$ Дж (рисунок 4.7, кривая 1), в то время как у известковых образцов на основе добавки, синтезированной без диатомита, – $-1,73$ Дж (рисунок 4.6, кривая 1). Тепловой эффект контрольного состава составляет $Q = -23,65$ Дж (рисунок 4.6, кривая 2).

Свыше температуры 150°C происходит удаление химической связанной воды из гидросиликатов кальция. Из рисунков 4.6, 4.7 видно, что эндотермический эффект при нагревании известковых образцов с добавкой, синтезированной без диатомита, меньше и составляет $Q = -7,46$ Дж (рисунок 4.6, кривая 1), в то время как у известковых образцов на основе добавки, синтезированной в присутствии диатомита, – $-9,502$ Дж (рисунок 4.7, кривая 1), что, видимо, обусловлено большим содержанием гидросиликатов кальция в известковых образцах с добавкой, синтезированной в присутствии диатомита.

Анализ термограмм известковых образцов с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезируемой в присутствии диатомита, свидетельствует, что тепловой эффект, связанный с дегидратацией портландита меньше и составляет $Q = -4,18$ Дж (рисунок 4.7, кривая 1), чем у известковых образцов с добавкой, синтезируемой без диатомита, – -10 Дж (рисунок 4.6, кривая 1). Тепловой эффект, связанный с дегидратацией портландита известковых образцов с диатомитом составляет $Q = -28,16$ Дж (рисунок 4.6, кривая 2).

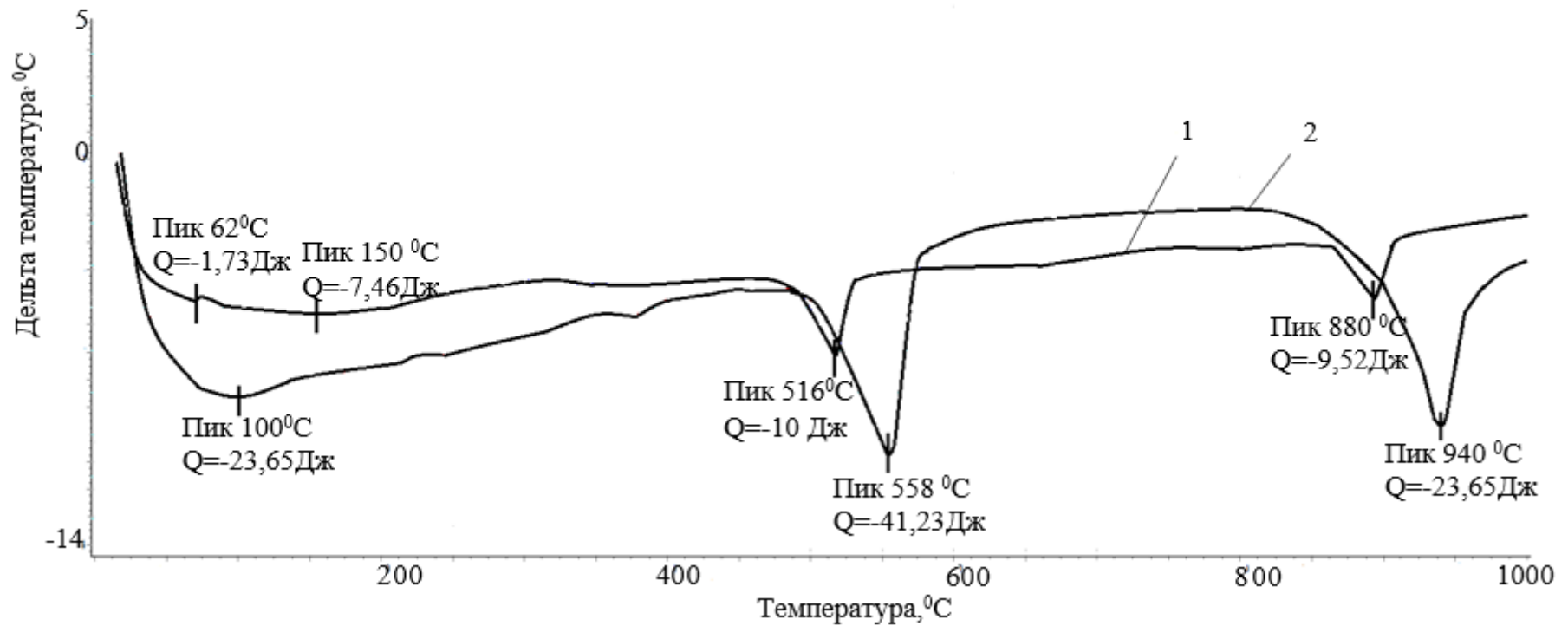


Рисунок 4.6 – Кривые дифференциально-термического анализа известковых образцов:

1 – известковые образцы с добавкой, синтезированной без диатомита;

2 – контрольный состав.

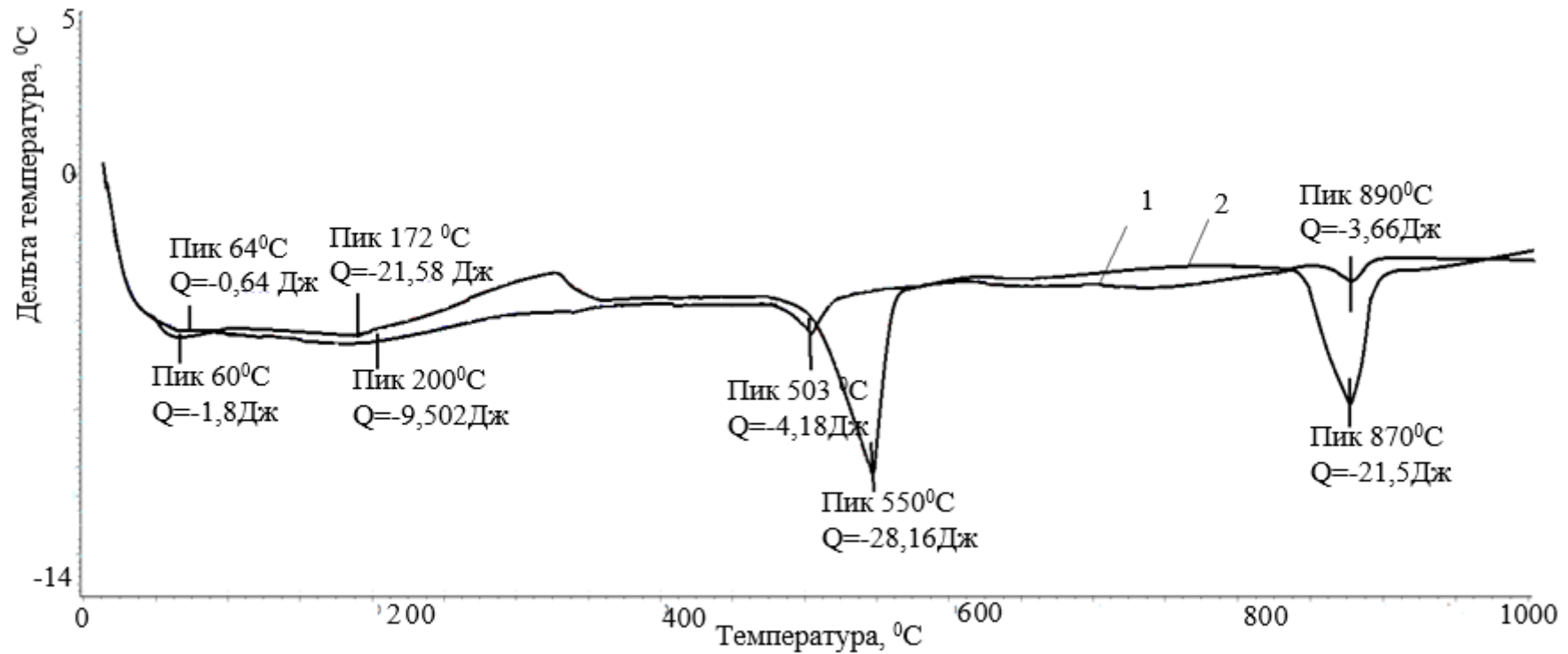


Рисунок 4.7 – Кривые дифференциально-термического анализа известковых образцов:

1– известковые образцы с добавкой, синтезированной в присутствии диатомита;

2– известковые образцы с диатомитом (без добавок ГСК).

Тепловые эффекты при температуре 800-1000°C характеризуют диссоциацию кальцита в известковых образцах. Анализ термограмм выявил, что наименьшим тепловым эффектом, связанным с диссоциацией кальцита, обладают известковые образцы с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита, что, видимо, связано с меньшим содержанием кальцита в их составе.

Таким образом, установлено, что минералогический состав известковых образцов на основе добавки гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита, содержит большее количество низкоосновных гидросиликатов кальция и меньшее количество портландита и кальцита.

4.2 Подбор гранулометрического состава мелкого заполнителя для сухих строительных смесей

В составе сухой строительной смеси заполнитель может достигать 80-85% общего объема материала, поэтому изучение гранулометрических характеристик заполнителя имеет большое практическое значение.

Пески для сухих строительных смесей должны обладать наименьшей межзерновой пустотностью [12]. В таблице 4.2 приведены экспериментальные данные гранулометрического состава Ухтинского песка.

Таблица 4.2 – Гранулометрический состав песка Ухтинского месторождения

| Фракция песка, мм | Ухтинское месторождение песка |
|-------------------|-------------------------------|
| Больше 2,5 | 1,0 |
| 2,5-1,25 | 2,1 |
| 1,25-0,63 | 9,6 |
| 0,63-0,315 | 39,5 |
| 0,315-0,16 | 44,0 |
| Меньше 0,16 | 3,8 |

Пустотность заполнителя в сухих строительных смесях определяет расход вяжущего, поэтому исследование гранулометрического состава песков имеет большое практическое значение [138]. В таблице 4.3 представлены значения насыпной плотности и межзерновой пустотности песка Ухтинского месторождения.

Гранулометрический состав заполнителя заключался в подборе соотношений между тремя основными фракциями песка (0,16-0,315; 0,315-0,63; 0,63-1,25). Выбор соотношений между фракциями песка зависел от значений насыпной плотности.

Таблица 4.3 – Плотность и межзерновая пустотность исследуемого песка

| Наименование месторождения песка | Фракция | Насыпная плотность, кг/м ³ | Межзерновая пустотность, % |
|----------------------------------|------------|---------------------------------------|----------------------------|
| Ухтинское | 1,25-0,63 | 1530,3 | 42,3 |
| | 0,63-0,315 | 1522,3 | 42,6 |
| | 0,315-0,16 | 1460,1 | 44,9 |

Изучалось изменение насыпной плотности песка, содержащего две фракции. На рисунках 4.8 – 4.10 представлены графики изменения насыпной плотности песка при различном сочетании двух фракций.

Выявлено, что для песка Ухтинского месторождения оптимальным является соотношение фракций 1,25-0,63 мм и 0,315-0,16 мм соответственно 70 %:30 % с $\rho_{нас} = 1603$ кг/м³. В то же время содержание фракции 1,25-0,63 мм составляет лишь 9,6 % от общего объема (таблица 4.2).

Исходя из экспериментальных данных, было принято решение при дальнейшей разработке состава сухой строительной смеси использовать кварцевый песок Ухтинского месторождения с соотношением фракций 0,63-0,315 мм и 0,315-0,16 мм соответственно 80 %:20 %

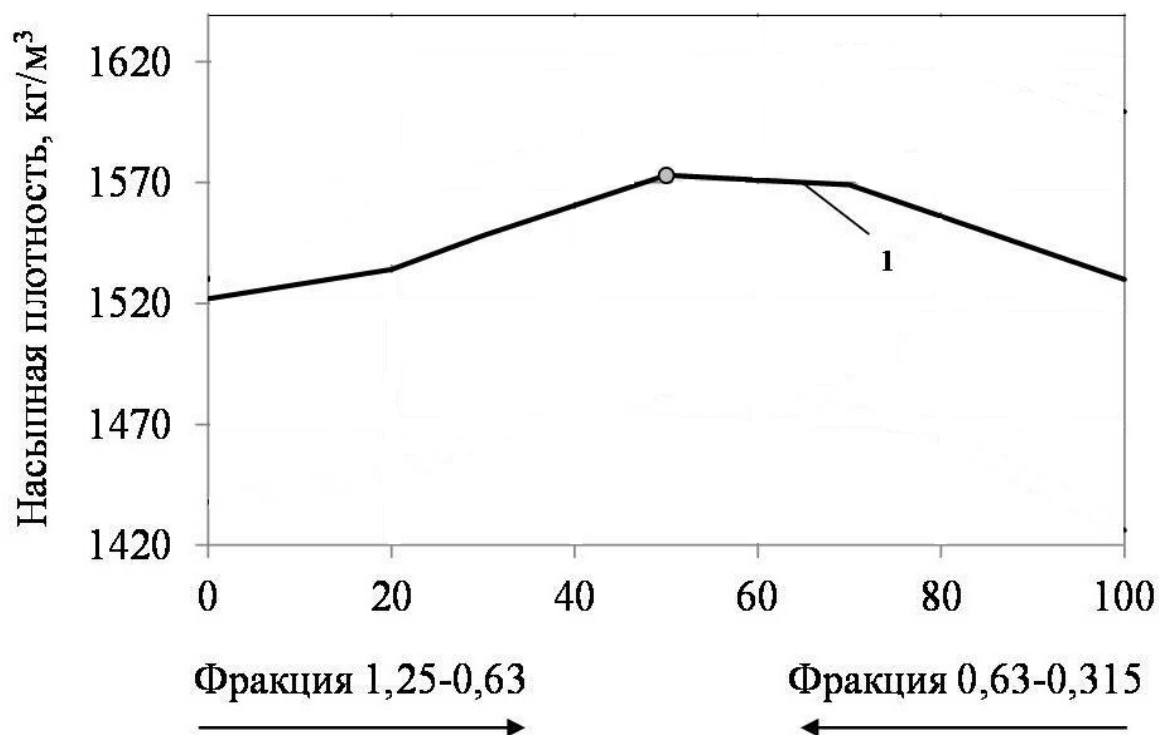


Рисунок 4.8 – Зависимость изменения насыпной плотности песка Ухтинского месторождения от соотношения фракций 1,25-0,63:0,63-0,315:

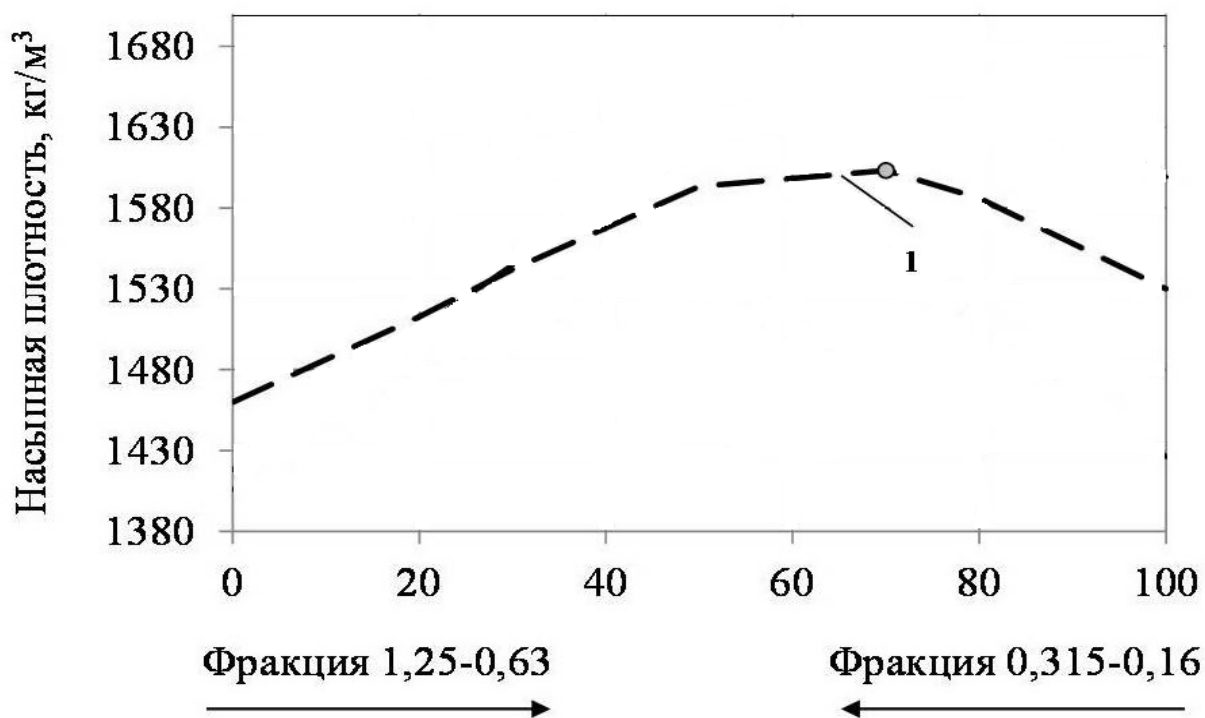


Рисунок 4.9 – Зависимость изменения насыпной плотности песка Ухтинского месторождения от соотношения фракций 1,25-0,63:0,315-0,16:

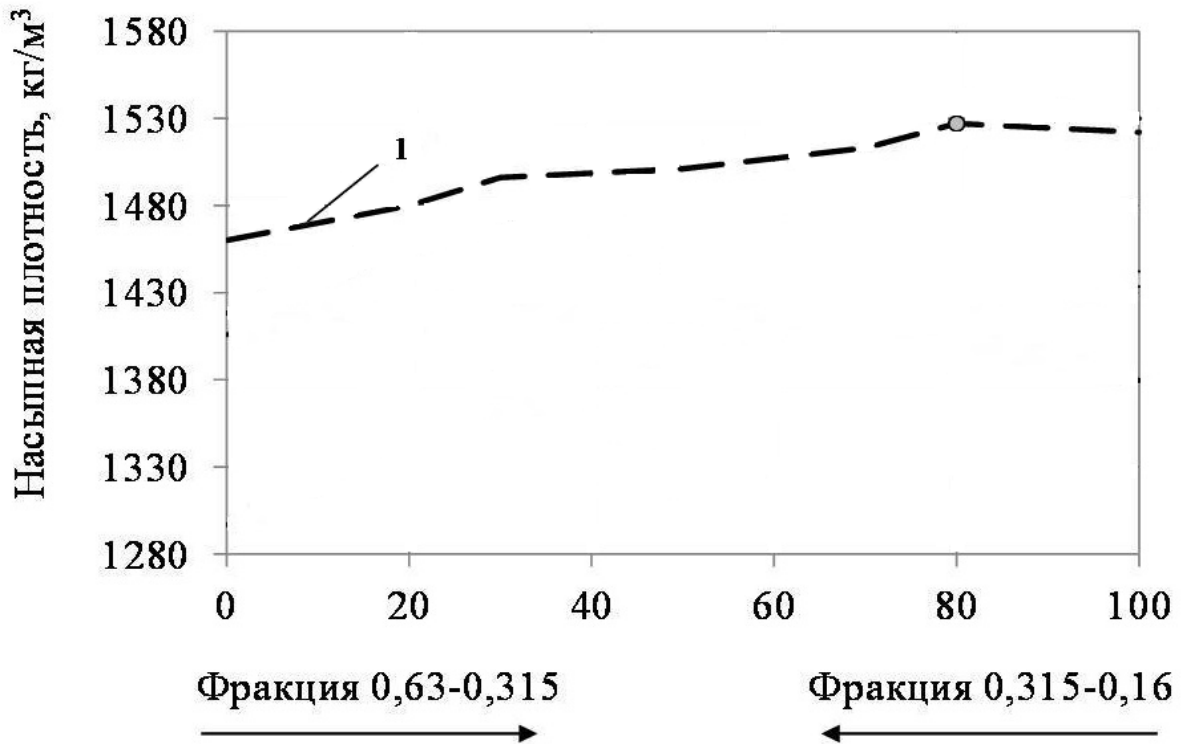


Рисунок 4.10 – Зависимость изменения насыпной плотности песка Ухтинского месторождения от соотношения фракций 0,63-0,315:0,315-0,16:

4.3 Закономерности изменения технологических и реологических свойств известковых составов с добавкой на основе ГСК

Реологическое поведение известковых систем изучалось с помощью ротационного вискозиметра ВСН-3. На рисунке 4.6 приведена зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига. Водоизвестковое отношение известковой композиции составляло В/И=1,3.

Анализ экспериментальных данных свидетельствует, что изменение напряжения сдвига подчиняется уравнению Шведова-Бингама

$$\bar{\tau} = \bar{\tau}_0 + \eta\gamma, \quad (4.2)$$

где $\bar{\tau}_0$ – предельное напряжение сдвига;

η – пластическая вязкость;

γ – скорость сдвига.

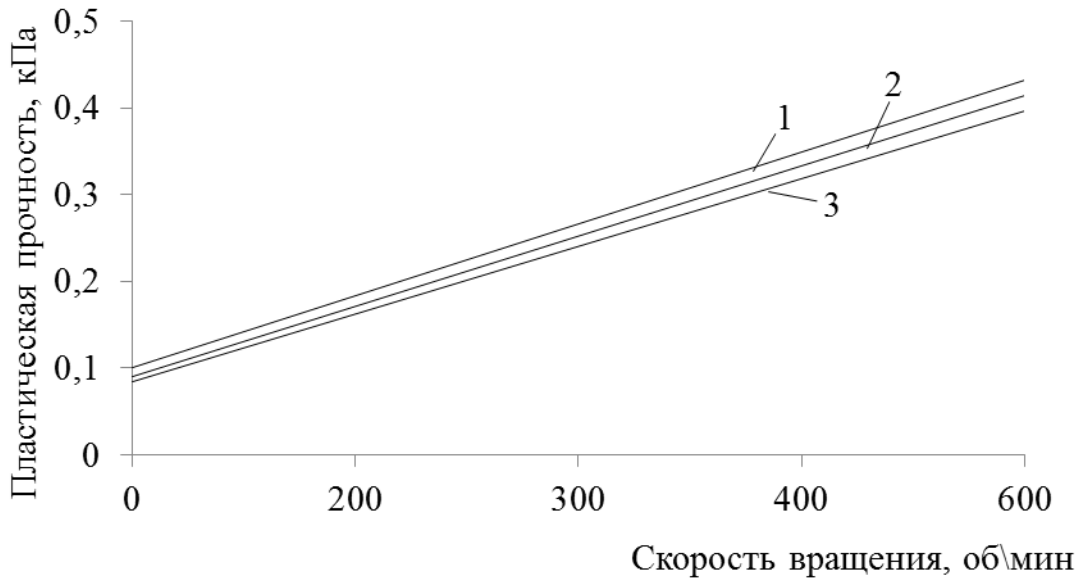


Рисунок 4.11 – Зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига:

- 1 – известковое тесто с добавлением ГСК;
- 2 – известковое тесто с добавлением ГСК, синтезированных в присутствии диатомита;
- 3 – контрольный состав.

Модель (4.2) для составов на основе композиционного вяжущего с добавлением ГСК, синтезированных в присутствии диатомита, имеет вид

$$\tau = 0,1 + 0,00141 \gamma;$$

– для составов на основе композиционного вяжущего с добавлением ГСК

$$\tau = 0,097 + 0,00135 \gamma;$$

– для составов на основе известкового вяжущего

$$\tau = 0,085 + 0,00124 \gamma.$$

Для известковых составов на основе добавки ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, значение предельного напряжения сдвига составляет $\tau_0=0,1$ кПа, а пластическая вязкость $\eta=0,00141$ кПа \times с (рисунок 4.11, кривая 1), а для известковых составов на основе добавки ГСК, – $\tau_0=0,097$ кПа, и соответственно $\eta=0,00135$ кПа \times с (рисунок 4.11, кривая 2). Для известковых составов начальное напряжение сдвига составляет $\tau_0= 0,085$ кПа, а пластическая вязкость $\eta=0,00124$ кПа \times с (рисунок 4.11, кривая 3).

Анализ данных свидетельствует, что введение гидросиликатов кальция, синтезированных с применением диатомита, способствует структурированию известковой системы, наблюдается увеличение предельного напряжения сдвига.

Использование добавок на основе ГСК в составах сухих строительных смесей способствует изменению их реологических свойств [145]. Пластическая прочность определялась с помощью конического пластометра КП-3.

В связи с этим в известковый раствор вводили песок фракции 0,63-0,315 мм и 0,315-0,14 мм в соотношении 80:20, соотношением вяжущее:песок И:П=1:2, И:П=1:3, И:П=1:4. Результаты исследований приведены на рисунке 4.12.

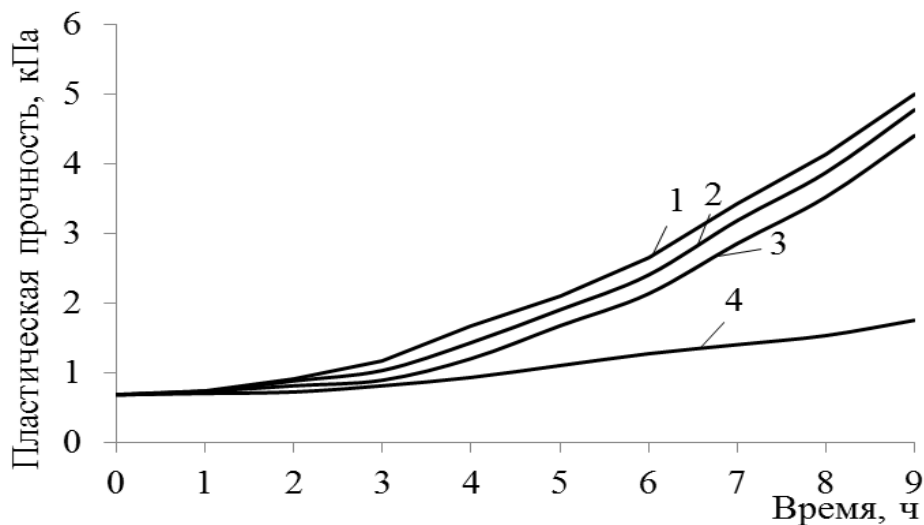


Рисунок 4.12 – Изменение пластической прочности растворной смеси:

1 – состав с добавкой ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, с соотношением И:П=1:2;

2 – состав с добавкой ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, с соотношением И:П=1:3;

3 – состав с добавкой ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, с соотношением И:П=1:4;

4 – контрольный состав (без добавок ГСК), с соотношением И:П=1:3.

При введении в известковый состав ГСК, синтезированных в присутствии диатомита, приводит к увеличению пластической прочности. У составов значение пластической прочности в возрасте 5 ч. твердения при соотношении И:П=1:4 составляет $\tau=1,6$ кПа (рисунок 4.12, кривая 3), в то время как при соотношении

И:П=1:3 – $\tau=1,8$ кПа (рисунок 4.12, кривая 2). Анализ пластограммы, приведенный на рисунке 4.12, свидетельствуют, что с увеличением содержания песка наблюдается снижение пластической прочности известково-песчаных композитов. При этом, с увеличением содержания песка влияние формы и шероховатости поверхности зерен песка проявляется в большей степени. Таким образом, оптимальное соотношение И:П составило как 1:3, поэтому дальнейшая разработка состава ССС производилась именно с данным соотношением.

Установлено, что известковые составы на основе добавки ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, приводит к увеличению набора пластической прочности (рисунок 4.13, кривая 4). Так, пластическая прочность растворной смеси уже в возрасте 5 ч твердения составляет $\tau=2,1$ кПа (рисунок 4.13, кривая 4), а применение ГСК, синтезированных без диатомита, – $\tau=1,88$ кПа (рисунок 4.13, кривая 3). Пластическая прочность контрольного состава составляла $\tau=0,9$ кПа (рисунок 4.13, кривая 1). Введение в растворную смесь совместно с известью только одного диатомита не вызывает столь значительного ускорения набора пластической прочности.

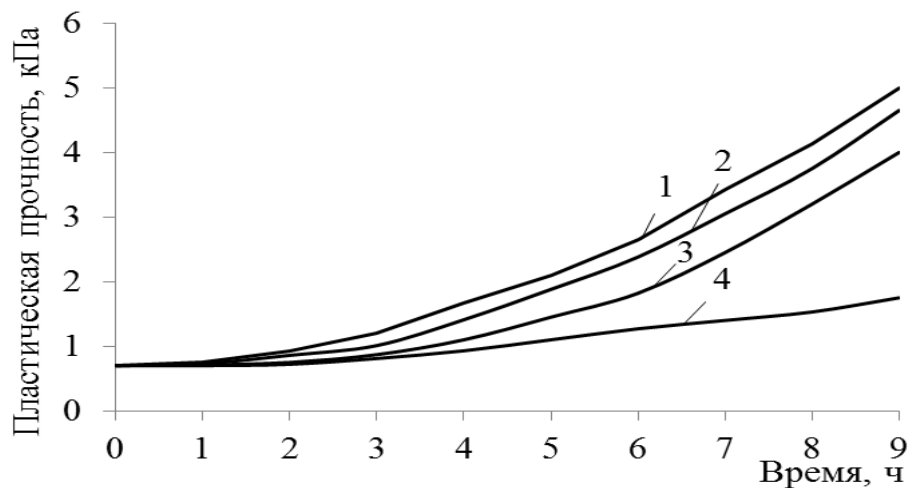


Рисунок 4.13 – Изменение пластической прочности растворной смеси:

- 1 – состав на основе добавки ГСК, синтезированной в присутствии диатомита;
- 2 – состав на основе добавки ГСК, синтезированной без диатомита;
- 3 – состав на основе 3 диатомита;
- 4 – контрольный состав.

Оценивался пластифицирующий эффект добавки в чисто известковой системе и наполненном добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита, вяжущем. Выявлено, что максимальный пластифицирующий эффект в составе без добавок наблюдается при применении пластификатора Кратасол ПФМ, водоредуцирующий эффект равен соответственно 1,5 (таблица 4.4). Введение в известь добавки на основе гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита, способствует повышению пластифицирующего эффекта, водоредуцирующий эффект увеличивается до 1,7 (таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Значения водоредуцирующего эффекта

| Наименование пластификатора | Содержание пластификатора, % от массы вяжущего | Состав вяжущего | |
|-----------------------------|--|-----------------|---|
| | | без добавок ГСК | с добавкой ГСК, синтезированной в присутствии диатомита |
| Кратасол ПФМ | 1 | 1,5 | 1,7 |
| Кратасол ПФМ | 0,5 | 1,2 | 1,5 |
| С-3 | 1 | 1,3 | 1,6 |
| С-3 | 0,5 | 1,1 | 1,4 |
| Sika 3180 | 1 | 1,2 | 1,5 |
| Sika 3180 | 0,5 | 1,1 | 1,3 |

В таблице 4.5 представлены значения предела прочности при сжатии известковых образцов на основе добавки, синтезированной в присутствии диатомита, с разными пластификаторами [121]. Готовились составы с равными реологическими характеристиками.

Установлено, что прочность при сжатии известковых образцов с пластификатором Кратасол ПФМ и водоизвестковым соотношении 0,8 выше и составляет $R_{сж}=5,1\pm 0,089$ МПа, в то время как с пластификатором Кратасол ПФМ и водоизвестковым соотношением 1,5 – $R_{сж}=4,3\pm 0,124$ МПа.

Таблица 4.5 – Прочность при сжатии известковых образцов с добавкой гидросиликатов кальция

| Наименование пластификатора | Содержание пластификатора, % от массы извести | В/И | Предел прочности при сжатии*, МПа, в возрасте 28 суток |
|-----------------------------|---|------|--|
| – | – | 1,5 | 4,7±0,167 |
| Кратасол ПФМ | 1 | 1,5 | 4,3±0,124 |
| Кратасол ПФМ | 1 | 0,8 | 5,1±0,089 |
| С–3 | 1 | 1,5 | 4,27±0,052 |
| С–3 | 1 | 1,05 | 5,025±0,218 |
| Sika 3180 | 1 | 1,5 | 4,2±0,053 |
| Sika 3180 | 1 | 1,1 | 4,9±0,178 |

Примечание*. Значения прочности при сжатии указаны с учетом доверительного интервала при надежности 0,95

Анализ пластограмм (рисунок 4.15) свидетельствует, что применение пластифицирующих добавок в рецептуре известковых систем приводит к более замедленному структурообразованию.

Установлено, что в возрасте 5 часов с момента затворения пластическая прочность известкового состава на основе гидросиликатов кальция, синтезированных в присутствии диатомита, с добавкой Кратасол ПФМ в количестве 1% от массы извести составляет $\tau=0,69$ кПа (рисунок 4.15, кривая 4), а при добавлении Sika 3180 в количестве 1% от массы извести, – $\tau=0,81$ кПа (рисунок 4.15, кривая 2).

Для регулирования реологических и технологических свойств, повышения адгезии к основанию и снижения водопоглощения в рецептуру известково-песчаного состава с добавкой на основе гидросиликатов кальция также вводили редиспергируемый порошок Neolith P 4400.

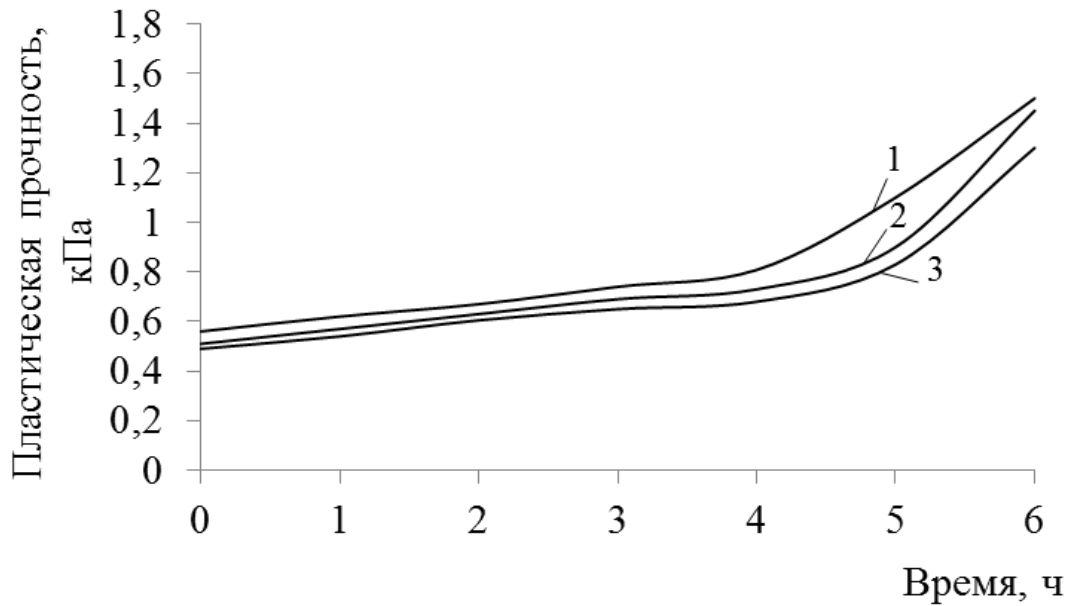


Рисунок 4.15 – Кинетика пластической прочности растворной смеси:

1 – растворная смесь на основе гидросиликатов кальция, синтезированных в присутствии диатомита, с добавлением Sika 3180 в количестве 1% от массы извести;

2 – растворная смесь на основе гидросиликатов кальция, синтезированных в присутствии диатомита, с добавлением С-3 в количестве 1% от массы извести;

3 – растворная смесь на основе гидросиликатов кальция, синтезированных в присутствии диатомита, с добавлением Кратасол ПФМ в количестве 1% от массы извести.

На рисунке 4.16 изображена пластограмма растворной смеси на основе добавки гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита, с добавлением Neolith P 4400 с разным процентным содержанием от массы сухой смеси.

Введение в рецептуру растворной смеси с добавкой ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, редиспергируемого порошка Neolith P 4400 вызывает ускорение структурообразования (рисунок 4.16). Уже в возрасте 5 часов с момента затворения пластическая прочность растворной смеси с добавкой ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, с добавлением Neolith P 4400 в количестве 1% составляет $\tau=5,2$ кПа (рисунок 4.16, кривая 1), а с применением

добавки ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, в присутствии Neolith P 4400 в количестве 0,3%, – $\tau=2,4$ кПа (рисунок 4.16, кривая 4).

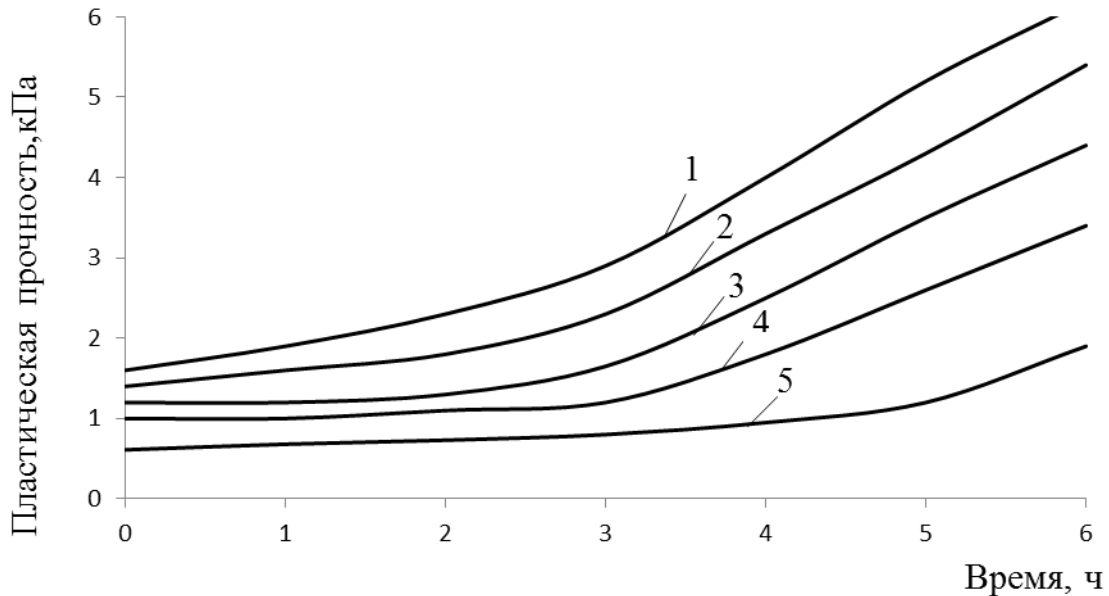


Рисунок 4.16 – Кинетика пластической прочности растворной смеси:

1 – растворная смесь на основе добавки ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, с добавлением Neolith P 4400 в количестве 1% от массы сухой смеси;

2 – растворная смесь на основе добавки ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, с добавлением Neolith P 4400 в количестве 0,8% от массы сухой смеси;

3 – растворная смесь на основе добавки ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, с добавлением Neolith P 4400 в количестве 0,5% от массы сухой смеси;

4 – растворная смесь на основе добавки ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, с добавлением Neolith P 4400 в количестве 0,3% от массы сухой смеси;

5 – растворная смесь на основе добавки ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, с добавлением пластификатора Кратасол– ПФМ в количестве 1% от массы извести и Neolith P 4400 в количестве 0,5% от массы сухой смеси.

При совместном введении в растворную смесь пластификатора и редуцируемого порошка наблюдается рост пластической прочности спустя 5 часов (рисунок 4.16, кривая 5).

Уже в возрасте 5 часов с момента затворения пластическая прочность растворной смеси на основе добавки ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, с добавлением Neolith P 4400 составляет $\tau=2,6$ кПа (рисунок 4.17,

кривая 4), а с применением добавки ГСК, синтезированной без диатомита, в присутствии Neolith P 4400 $\tau=3$ кПа (рисунок 4.17, кривая 3).

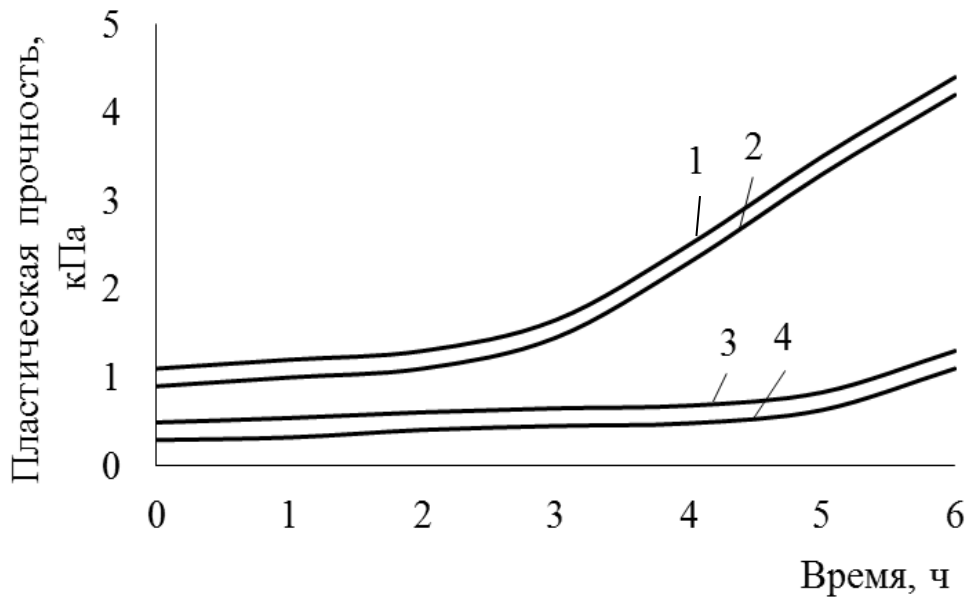


Рисунок 4.17 – Кинетика пластической прочности растворной смеси с добавкой ГСК:

1 – растворная смесь на основе добавки ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, с добавлением Neolith P 4400 в количестве 0,3% от массы сухой смеси.

2 – растворная смесь с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной без диатомита, с добавлением Neolith P 4400 в количестве 0,3% от массы сухой смеси;

3 – растворная смесь на основе добавки ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, с добавлением пластификатора Кратасол ПФМ в количестве 1% от массы извести;

4 – растворная смесь с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной без диатомита, с добавлением пластификатора Кратасол ПФМ в количестве 1% от массы извести;

Введение добавки на основе ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, в известковый состав способствует увеличению водоудерживающей способности. В таблице 4.6 представлены значения водоудерживающей способности известковых образцов.

Таблица 4.6 – Водоудерживающая способность известковых образцов

| Состав | Водоудерживающая способность, % |
|---|---------------------------------|
| Контрольный (без добавок ГСК) | 95,5 |
| Известковый состав с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной без диатомита | 97,2 |
| Известковый состав с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита | 97,9 |

Так, водоудерживающая способность состава на основе добавки, синтезированной в присутствии диатомита, составляет 97,9%, в то время как у состава на основе добавки, синтезированной без применения диатомита – 97,2%. Водоудерживающая способность контрольного состава составляет 95,5%.

Из экспериментальных данных (таблица 4.6) следует, что известковые составы с добавками ГСК характеризуются достаточной водоудерживающей способностью, составляющей 97,2-97,9 %.

4.4 Закономерности твердения известковых образцов с применением добавок на основе ГСК

Исследовалось влияние редиспергируемого порошка Neolith P 4400 в количестве 0,3%, 0,5%, 0,8%, 1% от массы сухой смеси на прочность при сжатии $R_{сж}$ известкового композита на основе добавки гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита. Результаты исследований свидетельствуют, что в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения прочность при сжатии известковых образцов с добавлением Neolith P 4400 в количестве 0,3% от массы сухой смеси составляет $R_{сж}=6,05\pm 0,102$ МПа (таблица 4.7), а с добавлением Neolith P 4400 в количестве 1% от массы сухой смеси составляет $R_{сж}=6,33\pm 0,133$ МПа (таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Зависимость предела прочности при сжатии известкового композита от процентного содержания Neolith P 4400

| Содержание Neolith P 4400, % от массы сухой смеси | Предел прочности при сжатии*, МПа, в возрасте 28 суток |
|---|--|
| 0,3 | 6,05±0,102 |
| 0,5 | 6,25±0,058 |
| 0,8 | 6,27±0,167 |
| 1 | 6,33±0,133 |

Примечание*. Значения прочности при сжатии указаны с учетом доверительного интервала при надежности 0,95

При анализе данных, приведенных в таблице 4.7, выявлено, что увеличение процентного содержания редиспергируемого порошка Neolith P 4400 не приводит к значительному изменению прочности при сжатии известкового композита. Поэтому в целях снижения стоимости готовой ССС предложено применять Neolith P 4400 в количестве 0,3% от массы сухих компонентов.

Исследовалось влияние суперпластификатора Кратасол ПФМ в количестве 0,8%, 1%, 1,2%, 1,4% от массы извести на прочность при сжатии известкового композита на основе добавки гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита.

Результаты исследований свидетельствуют, что в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения прочность при сжатии известковых образцов с добавлением Кратасол ПФМ в количестве 0,8% от массы извести составляет $R_{сж}=4,6\pm 0,098$ МПа (таблица 4.8), а с добавлением Кратасол ПФМ в количестве 1,4% от массы извести составляет $R_{сж}=4,33\pm 0,207$ МПа (таблица 4.8).

При анализе данных, приведенных в таблице 4.8, выявлено, что увеличение процентного содержания суперпластификатора Кратасол ПФМ приводит к уменьшению прочности при сжатии известкового композита. Исходя из экспериментальных данных, в дальнейших исследованиях при изготовлении

известковых образцов применяли добавку Кратасол ПФМ в количестве 1% от массы извести.

Таблица 4.8 – Зависимость предела прочности при сжатии известкового композита от процентного содержания добавки Кратасол ПФМ, В/И=1,2

| Содержание Кратасол ПФМ, % от массы вяжущего | Предел прочности при сжатии*, МПа, в возрасте 28 суток |
|--|--|
| 0,8 | 4,6±0,098 |
| 1 | 4,67±0,132 |
| 1,2 | 4,45±0,175 |
| 1,4 | 4,33±0,207 |

Примечание*. Значения прочности при сжатии указаны с учетом доверительного интервала при надежности 0,95

Выводы к главе 4

1. Методом РФА и ДТА выявлено, что минералогический состав образцов на основе известковых составов с добавкой ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, характеризуется наличием гидросиликатов кальция CSH(I) и CSH(II), портландита, кальцита и кварца. Выявлено уменьшение количества химически свободной извести в 1,88 раза по сравнению с контрольным составом.

2. Установлен оптимальный гранулометрический состав заполнителя, при котором достигается наибольшая плотность упаковки зерен мелкого заполнителя. Предложено применять в сухих строительных смесях кварцевый песок Ухтинского месторождения с соотношением фракций 0,63-0,315:0,315-0,16 мм соответственно 80%:20% с насыпной плотностью 1527 кг/м³.

3. Установлены закономерности изменения реологических и технологических свойств известковых образцов с добавкой ГСК, синтезированной в присутствии диатомита. Выявлено, что введение добавки ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, способствует ускорению отверждения известковых составов.

Установлен наибольший пластифицирующий эффект модифицирующей добавки Кратасол ПФМ.

4. Установлены закономерности твердения известково-песчаных растворов с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита. Выявлено, что введение в известково-песчаный состав ГСК, синтезированных в присутствии диатомита, способствуют повышению прочности при сжатии известковых образцов. Подобраны оптимальные концентрации пластифицирующей добавки Кратасол ПФМ в количестве 1% от массы извести, редиспергируемого порошка Neolith P 4400 в количестве 0,3% от массы сухой смеси.

Глава 5. Эксплуатационная стойкость отделочного слоя на основе сухой строительной смеси

5.1 Гидрофизические свойства покрытий на основе отделочных составов

Известковые отделочные покрытия на основе ССС характеризуются капиллярно-пористой структурой, особенности которой определяют характер взаимодействия материала с влагой при нахождении его в воздушно-влажной среде или непосредственном контакте с водой. При таком взаимодействии изменяются физико-механические свойства отделочного состава, поэтому необходимо изучение особенностей взаимодействия разработанных отделочных составов с влагой при их эксплуатации. Для оценки гидрофизических свойств составов на основе добавок ГСК были проведены исследования их кинетики водопоглощения, паропоницаемости и водостойкости.

Для повышения гидрофизических свойств известково-песчаных составов в их рецептуру вводились гидрофобизирующие порошки *Zincum 5* и *Sodium Oleate*.

На рисунке 5.1 приведены кривые водопоглощения по массе известковых образцов на основе добавки, синтезированной в присутствии диатомита, с применением добавки *Neolith P 4400* в количестве 0,3% от массы сухой смеси, пластификатора *Кратасол ПФМ* в количестве 1% от массы извести и гидрофобизирующей добавкой в количестве 0,5% от массы извести.

Выявлено, что в течение первого часа у всех образцов отмечалось интенсивное водопоглощение, в последующем происходила стабилизация показателей водопоглощения. Установлено, что введение гидрофобизирующей добавки ведет к снижению водопоглощения известковых образцов. Из рисунка 5.1 видно, что водопоглощение по массе спустя 24 часа увлажнения известковых образцов с применением добавки *Zincum 5* ниже и составляет 10,15%, в то время как у известковых образцов с применением добавки *Sodium Oleate* – 10,7%.

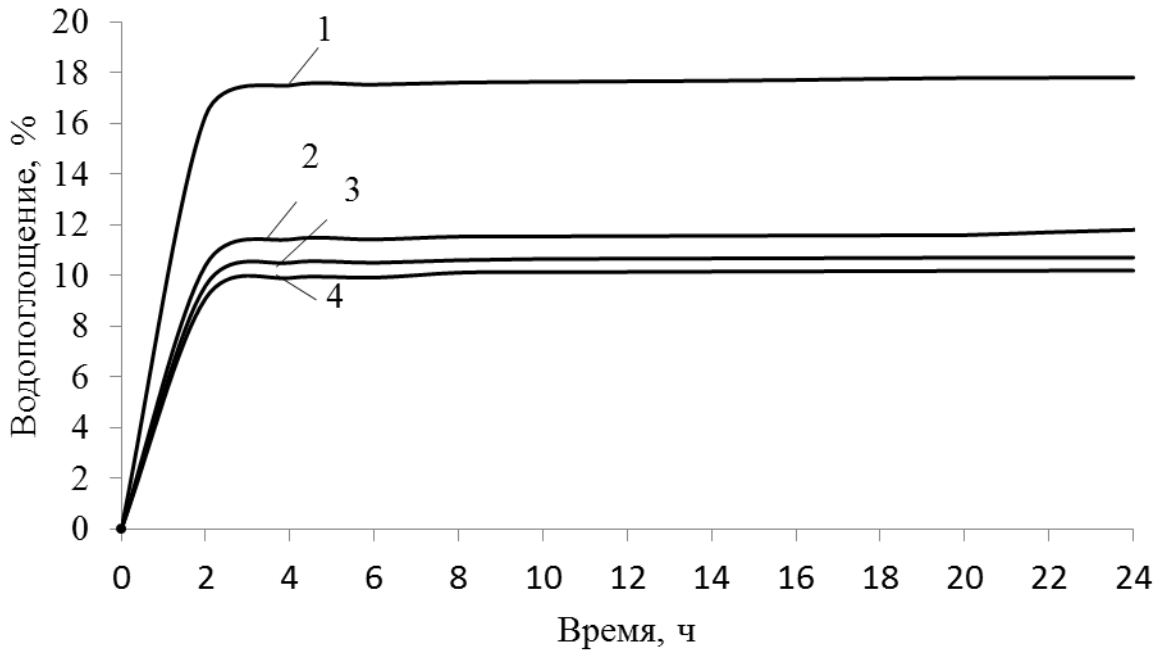


Рисунок 5.1 – Водопоглощение по массе известковых образцов:

- 1 – на основе контрольного состава (без добавок ГСК);
- 2 – состав с добавкой на основе ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, с применением добавки Neolith P 4400 в количестве 0,3% от массы сухой смеси, добавки Кратасол ПФМ в количестве 1% от массы извести;
- 3 – состав с добавкой на основе ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, с применением добавки Neolith P 4400 в количестве 0,3% от массы сухой смеси, добавки Кратасол ПФМ в количестве 1% от массы извести и добавки Sodium Oleate в количестве 0,5% от массы извести
- 4 – состав с добавкой на основе ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, с применением добавки Neolith P 4400 в количестве 0,3% от массы сухой смеси, добавки Кратасол ПФМ в количестве 1% от массы извести и добавки Zincum 5 в количестве 0,5% от массы извести.

Исследовалось взаимное влияние редиспергируемого порошка, пластифицирующей добавки и гидрофобизаторов на предел прочности при сжатии в возрасте 28 суток твердения воздушно-сухих условиях известкового композита с добавкой ГСК, синтезированной в присутствии диатомита (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Прочность при сжатии известкового композита на основе добавки гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита

| Содержание добавки Neolith P 4400, % от массы сухого вещества | Содержание добавки Кратасол ПФМ, % от массы вяжущего | Содержание добавки Zincum 5, % от массы вяжущего | Содержание добавки Sodium Oleate, % от массы вяжущего | Предел прочности при сжатии*, МПа, в возрасте 28 суток |
|---|--|--|---|--|
| - | - | - | - | 4,9±0,102 |
| 0,3 | 1 | - | - | 5,325±0,095 |
| 0,3 | 1 | 0,5 | - | 5,5±0,0076 |
| 0,3 | 1 | - | 0,5 | 5,335±0,145 |

Примечание*. Значения прочности при сжатии указаны с учетом доверительного интервала при надежности 0,95

Прочность при сжатии известкового композита с добавкой ГСК, синтезированной с применением диатомита, с применением гидрофобизатора Zincum 5 в количестве 0,5% от массы извести выше и составляет $R_{сж} = 5,5 \pm 0,0076$ МПа, чем у известкового композита с добавкой ГСК, синтезированной с применением диатомита, с применением гидрофобизатора Sodium Oleate в количестве 0,5% от массы извести, – $5,335 \pm 0,145$ МПа (таблица 5.1).

Таким образом, в дальнейших исследованиях при изготовлении известково-песчаных образцов с добавкой гидросиликатов кальция, синтезированной с применением диатомита, использовали гидрофобизирующую добавку Zincum 5 в количестве 0,5% от массы извести.

На рисунке 5.2 приведена зависимость водопоглощения по массе известковых композитов на основе синтезированных добавок гидросиликатов кальция от времени увлажнения.

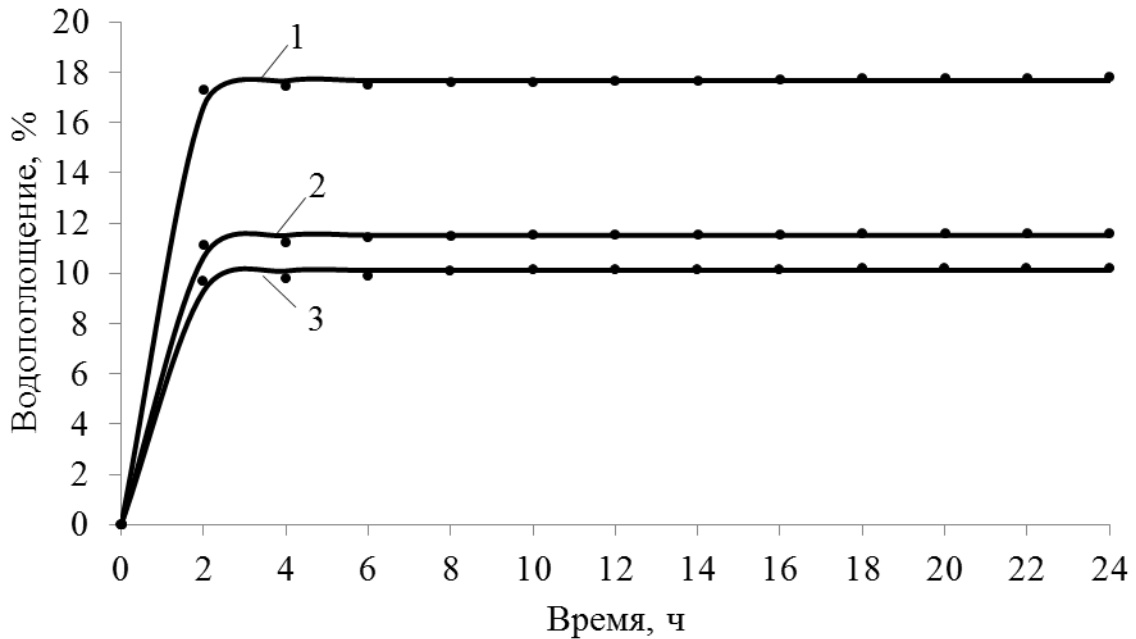


Рисунок 5.2 – Водопоглощение по массе известковых образцов:

- 1 – на основе контрольного состава (без добавок ГСК);
- 2 – состав с добавкой на основе ГСК, синтезированной без диатомита, с применением добавки Neolith P 4400 в количестве 0,3% от массы сухой смеси, добавки Кратасол ПФМ в количестве 1% от массы извести и добавки Zincum 5 в количестве 0,5% от массы извести;
- 3 – состав с добавкой на основе ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, с применением добавки Neolith P 4400 в количестве 0,3% от массы сухой смеси, добавки Кратасол ПФМ в количестве 1% от массы извести и добавки Zincum– 5 в количестве 0,5% от массы извести.

Производилась аппроксимация данных с помощью программы Curve Expert 1.3. Исходя из результатов аппроксимационных и экспериментальных исследований (рисунок 5.2), следует, что у известковых образцов с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита, водопоглощение ниже, чем с добавкой на основе ГСК, синтезированной без диатомита.

Кривые, представленные на рисунке 5.2, описываются экспоненциальным уравнением:

$$y = a(1 - e^{-bx}), \quad (5.1)$$

где a – константа, учитывающая максимально-возможное водопоглощение, %;

b – константа скорости водопоглощения, час⁻¹;

x – время, ч.

Значения констант a и b приведены в таблице 5.6.

Таблица 5.2 – Значения констант уравнения водопоглощения

| Состав | a , % | b , час ⁻¹ |
|---|------------|----------------------------|
| Контрольный (без добавок ГСК) | 17,671 | 1,902 |
| Известковый состав с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной без диатомита | 11,517 | 1,754 |
| Известковый состав с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита | 10,117 | 1,512 |

Результаты расчета свидетельствуют, что константа скорости водопоглощения образцов на основе составов с добавкой гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита, ниже, чем у известковых составов с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной без диатомита, таким образом, процесс водопоглощения у образцов на основе добавки гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита, протекает более медленно, чем у образцов с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной без диатомита.

Установлено, что введение в рецептуру известковых составов добавок на основе гидросиликатов кальция приводит к снижению пористости. Так, пористость образцов с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной без диатомита, составляет $\Pi=29,7\%$ (таблица 5.3), а с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита – $26,7\%$ (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Пористость известковых образцов с добавками гидросиликатов кальция

| Состав | Пористость, % | | |
|---|---------------|------------|-----------|
| | $P_{закр}$ | $P_{откр}$ | $P_{общ}$ |
| Контрольный | 7,1 | 28 | 35,1 |
| Известковый состав с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированных без диатомита | 5,4 | 24,3 | 29,7 |
| Известковый состав с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированных в присутствии диатомита | 4,5 | 22,2 | 26,7 |

Выявлено, что известковые покрытия на основе составов с добавкой гидросиликатов кальция характеризуются повышенной водостойкостью. Так, коэффициент размягчения у известковых образцов с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной без диатомита, составляет $K_{разм}=0,61$, в то время как у известковых образцов с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита, – $K_{разм}=0,73$. Коэффициент размягчения контрольных образцов составляет $K_{разм}=0,29$.

В таблице 5.4 представлены коэффициенты водопоглощения при капиллярном всасывании известковых образцов.

Из таблицы 5.4 следует, что у известковых образцов с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита, коэффициент водопоглощения при капиллярном всасывании ниже и равен $0,37$ кг/(м² ч^{0,5}), чем с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной без диатомита, – $0,41$ кг/(м² ч^{0,5}).

Таблица 5.4 – Коэффициент водопоглощения при капиллярном всасывании известковых образцов

| Состав | Водопоглощение при капиллярном всасывании, кг/(м ² ч ^{0,5}) |
|--|--|
| Контрольный состав на известковом вяжущем (без добавок ГСК) | 1 |
| Состав на основе ИКВ с применением добавки, синтезированной без применения диатомита | 0,41 |
| Состав на основе ИКВ с применением добавки, синтезированной в присутствии диатомита | 0,37 |

В таблице 5.5 приведены экспериментальные данные по определению паропроницаемости отделочных покрытий на основе добавок гидросиликатов кальция.

Исходя из результатов проведенных исследований, можно говорить о том, что покрытия на основе разработанных составов сухих строительных смесей обладают достаточной паропроницаемостью для создания «дышащей стены» внутри общественных и жилых зданий. В процессе эксплуатации здания может появляться конденсат на контактных поверхностях слоев стеновых конструкций. Если происходит увеличение атмосферной температуры, то накопившаяся влага начинает переходить в фазу пара, воздействуя на внутреннюю поверхность покрытия и прикладывая большое усилие, влияющие на отрыв покрытия от основания. Это, в свою очередь, вызывает появление трещин, пузырей, шелушения и других повреждений. Таким образом, для сохранения нормального микроклимата жилых помещений покрытия, применяемые для отделки, должны обладать определённой паропроницаемостью.

Таблица 5.5 – Паропроницаемость отделочных покрытий

| Состав | Толщина отделочного слоя δ , м | Коэффициент паропроницаемости μ , мг/м·ч·Па | Сопротивление паропроницанию R_n , м ² ·ч·Па/мг |
|--|---|---|--|
| Известковый состав с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированных без диатомита | 0,005 | 0,051 | 0,098 |
| Известковый состав с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированных в присутствии диатомита | 0,005 | 0,049 | 0,102 |

5.2 Трещиностойкость защитно-декоративных покрытий

В процессе эксплуатации защитно-декоративных покрытий образование трещин портит внешний вид отделки и является очагом разрушения, при этом сильно понижая эксплуатационные свойства покрытий. Одним из самых частых видов разрушения защитно-декоративных покрытий является нарушение монолитности вследствие растрескивания. Основной причиной образования трещин является возникновение деформаций растяжения, превышающих предельную растяжимость материала [11, 74].

К растрескиванию защитно-декоративных покрытий наружных ограждающих конструкций зданий приводит увлажнение за счет действия атмосферных осадков, высокая относительная влажность воздуха, диффузия водяного пара через ограждающую конструкцию от внутренней поверхности к наружной при низких температурах, суточные и сезонные колебания температур воздуха. Под действием знакопеременной температуры в покрытии происходят смены деформированного состояния, которые характеризуются чередованием сжимающих и растягивающих напряжений. Так же на появление трещин покрытий влияет воздействие солнечного света. В начальный период под действием света происходит фотоокислительная деструкция. В процессе фотоокисления покрытий появляются газообразные и жидкие продукты деструкции, которые способствуют процессу структурообразования при старении покрытий [24, 75]. Трещины бывают усадочные, тупиковые и трещины вследствие внутренних напряжений [13, 76].

Усадочные трещины возникают после того, как растягивающие напряжения, вызванное внутренним напряжением, достигнуто значения предела прочности.

Тупиковые трещины могут образовываться из-за слишком толстого верхнего слоя покрытия.

Таким образом, существует качественная связь внутреннего растрескивания покрытия с усадкой и предельной деформацией.

В связи с этим для увеличения стойкости известковых покрытий следует обеспечить их трещиностойкость [57, 82]. Оценка трещиностойкости покрытий оценивалась, исходя из условий:

$$\sigma < R_{kog}, \quad (5.2)$$

где σ – внутренние напряжения, МПа;

R_{kog} – предел прочности при растяжении, МПа.

$$\varepsilon_{yc} < \varepsilon_{пр}, \quad (5.3)$$

где ε_{yc} – усадочные деформации, мм/мм

$\varepsilon_{пр}$ – предельная растяжимость, мм/мм

Оценка напряженного состояния отделочного покрытия проводилась по следующей методике. На диск из алюминиевой фольги диаметром 120 мм и толщиной 0,01 мм наносили отделочные составы толщиной 8 мм. На свободной стороне диска наклеивался тензодатчик с базой 10 мм [81], показания которого фиксировались микропроцессорной многоканальной тензометрической системой ММТС – 64.01. Величина напряжений определялась по формуле:

$$\sigma_0 = 2 \cdot \frac{(1 - \mu_1) \cdot h_2}{h_1} \cdot E \cdot \varepsilon, \quad (5.4)$$

где μ_1 – коэффициент Пуассона;

h_1 – толщина отделочного слоя, м;

h_2 – толщина подложки, м;

E – модуль упругости подложки, МПа;

ε – относительная деформация подложки.

На рисунке 5.3 приведены кривые изменения внутренних напряжений в процессе отверждения отделочного слоя.

Анализ экспериментальных данных свидетельствует, что в покрытии с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированных в присутствии диатомита, зафиксированы наибольшие значения внутренних напряжений, максимальная величина которых составила $\sigma=0,021$ МПа (рисунок 5.3, кривая 1), в то время как у покрытия с добавкой на основе ГСК, синтезированных без диатомита, – 0,018 МПа (рисунок 5.3, кривая 2). Это, очевидно, объясняется тем, что добавка на основе ГСК, синтезированных в присутствии диатомита, ускоряет процесс раннего структурообразования покрытия и способствует увеличению прочностных характеристик отделочного состава в начальный период твердения.

Установлено, что максимальные значения внутренних напряжений отмечались в промежутке времени 5-7 часов после нанесения составов на поверхность с последующей релаксацией внутренних напряжений, которые стабилизировались к 22-24 часам.

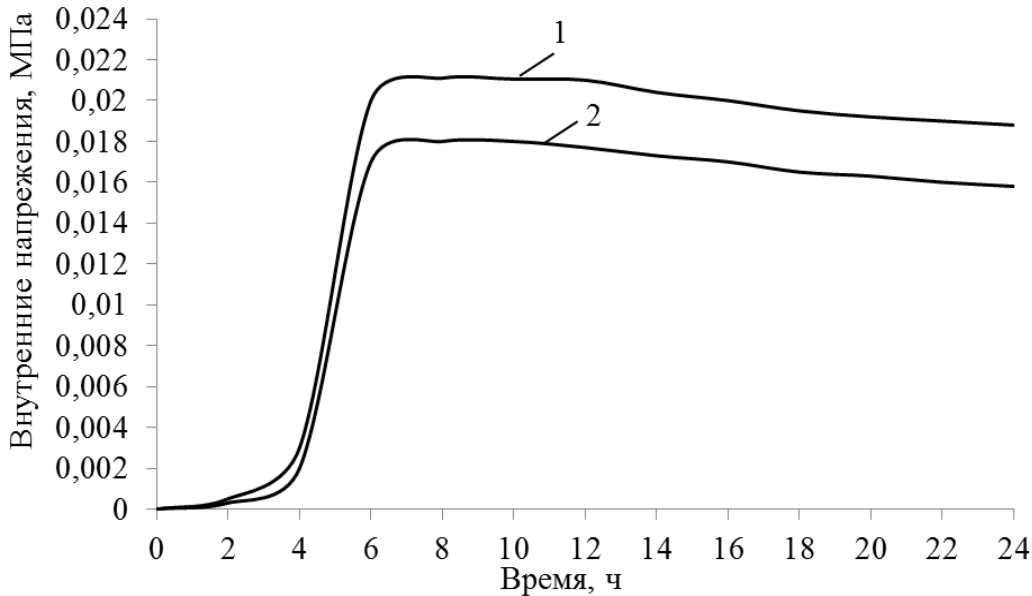


Рисунок 5.3 – Изменение внутренних напряжений в процессе твердения отделочного слоя:

1 – известковый состав с добавкой на основе ГСК, синтезированной в присутствии диатомита;

2 – известковый состав с добавкой на основе ГСК, синтезированной без диатомита.

Для оценки трещиностойкости дополнительно исследовали усадочные деформации в процессе твердения отделочных составов [1, 115]. Измерение усадочных деформаций проводилось на образцах-балочках размерами 2х2х8 см при температуре $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха $W_{отн.}=60-65\%$. Деформации усадки измеряли с помощью оптического компаратора ИЗА-2. Результаты оценки усадочных деформаций отделочных составов представлены на рисунке 5.4.

Наиболее интенсивный рост усадочных деформаций известковых образцов происходит в течение 5 суток твердения, после чего наблюдается заметная стабилизация (рисунок 5.4). Анализ рисунка 5.4 свидетельствует, что добавление в рецептуру ССС добавок на основе ГСК способствует снижению усадочных деформаций. Так, у контрольного состава (без добавок ГСК) (рисунок 5.4, кривая 3) после 10 суток твердения значение усадочных деформаций составило

$\varepsilon_{yc}=0,0323\%$. Образцы на основе добавки ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, по сравнению с образцами на основе добавки ГСК, синтезированной без применения диатомита, характеризуются меньшими усадочными деформациями, составляющими после 98 суток твердения $\varepsilon_{yc}=0,024\%$ (рисунок 5.4, кривая 1). Усадочные деформации после 98 суток твердения у образцов на основе добавки ГСК, синтезированной без применения диатомита, составляют $\varepsilon_{yc}=0,026\%$ (рисунок 5.4, кривая 2).

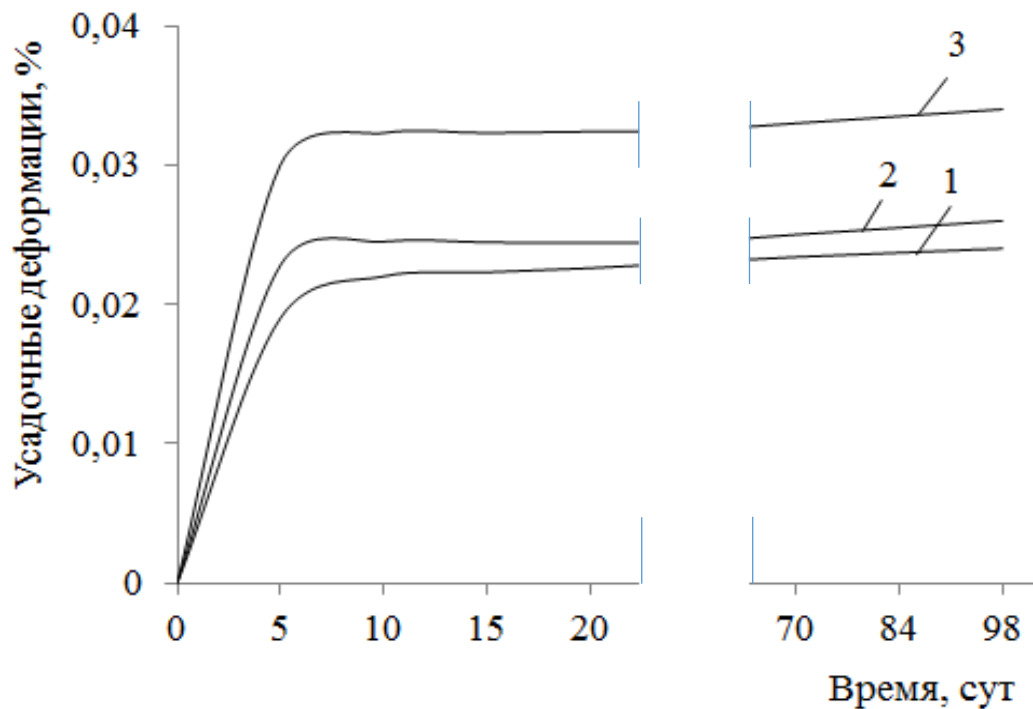


Рисунок 5.4 – Кинетика усадки покрытий на основе отделочных составов

1 – известковый состав с добавкой на основе ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, с применением добавки Neolith P 4400 в количестве 0,3% от массы сухих компонентов, пластификатора Кратасол ПФМ в количестве 1% от массы извести, гидрофобизатора Zincum 5 в количестве 0,5% от массы извести;

2 – известковый состав с добавкой на основе ГСК, синтезированной без диатомита, с применением добавки Neolith P 4400 в количестве 0,3% от массы сухих компонентов, пластификатора Кратасол ПФМ в количестве 1% от массы извести, гидрофобизатора Zincum 5 в количестве 0,5% от массы извести;

3 – контрольный состав (без добавок ГСК).

Когезионная прочность покрытий оценивалась по показателю прочности при растяжении R_{kog} . Испытания проводились на разрывной машине ИР 5057-50 на образцах после 28 суток воздушно-сухого твердения. Метод основан на растяжении испытуемого образца до разрыва при скорости деформирования 1 мм/мин. Предел прочности при растяжении R_{kog} , МПа (Н/мм²) для каждого образца вычислялся по формуле:

$$R_{kog} = \frac{F_{pi}}{S_{oi}}, \quad (5.5)$$

где F_{pi} – растягивающая нагрузка в момент разрыва, Н;

S_{oi} – начальная площадь поперечного сечения образца, мм².

Модуль упругости вычислялся по диаграмме «напряжение-деформация» по тангенсу угла наклона к оси абсцисс касательной, проведенной к начальному прямолинейному участку диаграммы.

Модуль упругости для каждого образца ($E_{упр}$) в МПа вычислялся по формуле:

$$E_{упр} = \frac{R'_{kogi}}{\varepsilon'_i}, \quad (5.6)$$

где R'_{kogi} – предел прочности при растяжении, МПа;

ε'_i – относительное удлинение при разрыве, мм/мм.

Полученные результаты (рисунок 5.5) свидетельствуют о том, что когезионная прочность и модуль упругости у известковых образцов с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита, выше и составляют $R_{kogi}=0,39$ МПа и $E_{упр}=50$ МПа (рисунок 5.5, кривая 1), а у известковых образцов с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной без применения диатомита, – $R_{kogi}=0,35$ МПа и $E_{упр}=42,5$ МПа (рисунок 5.5, кривая 2).

В таблице 5.6 представлены деформативные свойства покрытий на основе составов ССС с добавкой гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита.

Таблица 5.6 – Деформативные свойства состава на основе добавки ГСК, синтезированной в присутствии диатомита

| Наименование показателя | Значение показателя |
|--------------------------------------|---------------------|
| Предел прочности при растяжении, МПа | 0,39 |
| Модуль упругости покрытия, МПа | 50 |
| Предельная растяжимость, мм/мм | 0,005 |

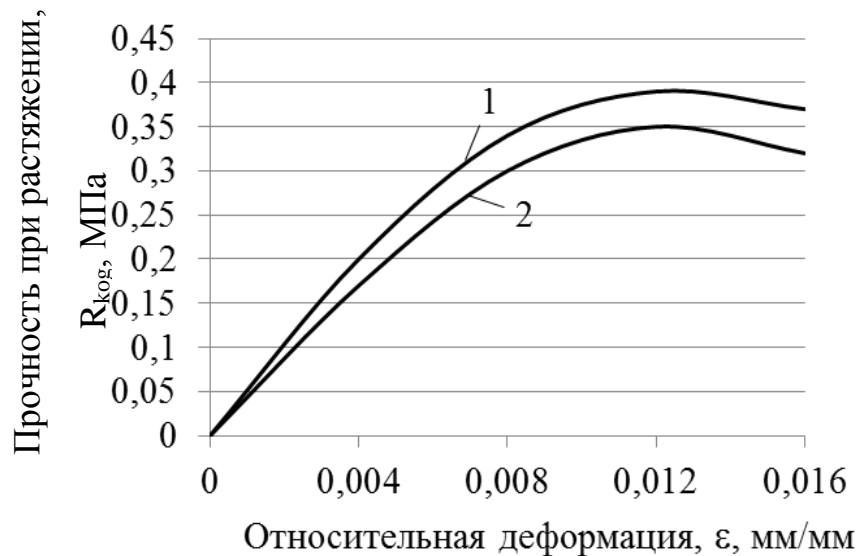


Рисунок 5.5 – Изменение относительных деформаций при растяжении известковых покрытий:

1 – известковый состав с добавкой на основе ГСК, синтезированной в присутствии диатомита;

2 – известковый состав с добавкой на основе ГСК, синтезированной без диатомита.

Таким образом, значение внутренних напряжений, составляющие 0,021 МПа, оказывается значительно меньше значения прочности при растяжении, равного 0,49 МПа, а значение предельной растяжимости, составляющие 0,005 мм/мм оказывается значительно больше значения усадочной деформации, равного 0,00024 мм/мм.

Представленные результаты позволяют сделать вывод о том, что покрытия на основе составов ССС с добавкой ГСК, синтезированной в присутствии диатомита,

удовлетворяют условиям (5.2, 5.3) и обладают более высокой трещиностойкостью.

5.3 Прочность сцепления покрытия с применением синтезированных гидросиликатов с подложкой

Одним из важных свойств сухих строительных смесей является прочность сцепления покрытий на их основе к поверхностям отделяемых элементов. Мерой оценки прочности сцепления отделочных покрытий является величина адгезионной прочности [44].

Для оценки адгезионной способности покрытий на основе разработанных сухих строительных смесей изучалась прочность сцепления известково-песчаных отделочных составов с поверхностью цементно-песчаных подложек [85].

В таблице 5.7 представлены значения адгезионной прочности исследуемых составов.

В соответствии с нормативными требованиями ТР 149/1-05 «Технические рекомендации по технологии применения комплекса отделочных материалов при реконструкции и капитальном ремонте внутренних поверхностей зданий» адгезия отделочных составов должна составлять не менее 0,4 МПа. Введение добавок на основе гидросиликатов кальция в рецептуру сухих строительных смесей приводит к увеличению адгезионной прочности.

Адгезия известковых образцов в возрасте 28 суток твердения с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита, с применением добавки Neolith P 4400 в количестве 0,3% от массы сухих веществ, пластификатора Кратасол ПФМ в количестве 1% от массы извести и гидрофобизатора Zincum 5 в количестве 0,5% от массы извести, равна $R_{адз}=0,89$ МПа, в то время как у образцов с добавкой ГСК, синтезированной без диатомита, с применением добавки Neolith P 4400 в количестве 0,3% от массы сухих веществ, пластификатора Кратасол ПФМ в количестве 1% от массы извести и гидрофобизатора Zincum 5 в количестве 0,5% от массы извести – $R_{адз}=0,8$ МПа.

Таблица 5.7 – Адгезионная прочность отделочных составов

| Состав | Прочность сцепления, $R_{адз}$, МПа |
|--|--------------------------------------|
| Контрольный состав (без добавок ГСК) | 0,14 |
| Известковый состав с добавкой ГСК, синтезированной в присутствии диатомита | 0,37 |
| Известковый состав с добавкой ГСК, синтезированной без диатомита | 0,29 |
| Известковый состав с ГСК, синтезированных в присутствии диатомита, с добавлением Кратасол ПФМ в количестве 1% от массы извести, Neolith P 4400 в количестве 0,3 % от массы сухих веществ, Zincum 5 в количестве 0,5 % от массы извести | 0,89 |
| Известковый состав с ГСК, синтезированных без диатомита с добавлением Кратасол ПФМ в количестве 1% от массы извести, Neolith P 4400 в количестве 0,3 % от сухих веществ, Zincum 5 в количестве 0,5 % от массы извести | 0,8 |
| Известковый состав с ГСК, синтезированных в присутствии диатомита с добавлением Кратасол ПФМ в количестве 1% от массы извести, Neolith P 4400 в количестве 0,5 % от массы сухих веществ, Zincum 5 в количестве 0,5 % от массы извести | 0,90 |
| Известковый состав с ГСК, синтезированных в присутствии диатомита | |

| | |
|---|------|
| с добавлением Кратасол ПФМ в количестве 1% от массы извести, Neolith P 4400 в количестве 0,8 % от массы сухих веществ, Zincum 5 в количестве 0,5 % от массы извести | 0,92 |
|---|------|

Установлено, что известковый состав на основе добавки ГСК, синтезированной в присутствии диатомита обладает большей адгезионной прочностью, чем известковый состав на основе добавки ГСК, синтезированной без применения диатомита.

Таким образом, известковый состав на основе добавки ГСК, синтезированной без применения диатомита, удовлетворяет нормативным требованиям ТР 149/1-05.

5.4 Оценка морозостойкости отделочного состава

Для оценки эксплуатационной стойкости покрытий на основе известковой ССС были проведены испытания на морозостойкость путем попеременного оттаивания и замораживания отделочного слоя, нанесенного на цементно-песчаное основание, после 28 суток воздушно-сухого твердения [25]. Оценку внешнего вида покрытий проводили по ГОСТ 6992-68 «Покрытия лакокрасочные. Метод определения устойчивости покрытия в атмосферных условиях». За «отказ» принималось состояние покрытия, оцененное III.4 баллами.

Установлено, что известковые образцы с добавкой на основе ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, выдержали 35 циклов испытания, при этом состояние покрытия после 35 циклов испытания оценено III.4 баллами, что соответствует состоянию покрытия с потерей блеска до 50% с значительным изменением цвета, белесоватости, бронзирования и грязеудержания, отсутствием отслаивания поверхности, растрескиванием до 25% поверхности, наличием сыпи до 25% и пузырей до 5% поверхности. Следовательно, марка по морозостойкости составляет F35.

Установлено, что, начиная с 24 циклов замораживания-оттаивания, наблюдается отличие в состоянии покрытий. Так, после 24 циклов оценка состояния покрытий на основе состава с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной без диатомита, составляет V. 5 баллов (таблица 5.8), а покрытий на основе состава с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированных в присутствии диатомита, – V. 6 баллов (таблица 5.8).

Таблица 5.8 – Качество внешнего вида покрытия

| Состав | Количество циклов | Баллы |
|---|-------------------|-------|
| Известковый состав с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированных без диатомита | до испытания | V. 8 |
| | 6 | V. 8 |
| | 12 | V. 8 |
| | 18 | V. 7 |
| | 24 | V. 5 |
| | 30 | IV. 4 |
| | 35 | III.3 |
| Известковый состав с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированных в присутствии диатомита | до испытания | V. 8 |
| | 6 | V. 8 |
| | 12 | V. 8 |
| | 18 | V. 7 |
| | 24 | V. 6 |
| | 30 | IV. 4 |
| | 35 | III.4 |

На рисунке 5.6-5.7 представлены фотографии образцов отделочных составов на основе добавки гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита, нанесенных на бетонные подложки до испытания на морозостойкость и после испытания.

Более высокая стойкость к переменному замораживанию-оттаиванию покрытий на основе состава с ГСК, синтезированных в присутствии диатомита, обусловлено, на наш взгляд, изменением пористой структуры.

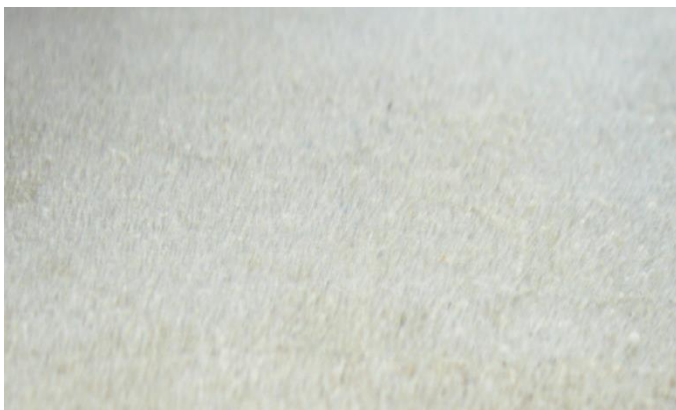


Рисунок 5.6 – Внешний вид покрытия до испытаний



Рисунок 5.7 – Внешний вид покрытия после испытаний

5.5 Влияние пигментов на свойства покрытий на основе отделочного состава

Для повышения декоративных свойств и увеличения цветовой палитры составов в рецептуру смеси были введены минеральные и искусственные органические пигменты. Вводимые в состав смесей пигменты оказывают влияние на насыпную плотность, сыпучесть, а также изменяют механические характеристики ССС. Были исследованы действия пигментов на изменение

прочности при сжатии покрытий на основе ССС, приготовленных с применением различных пигментов (таблица 5.9). Анализ экспериментальных данных показал, что с увеличением содержания пигмента в рецептуре ССС происходит уменьшение показателя прочности при сжатии. Так, прочность при сжатии известковых образцов на основе состава без пигмента составляет $R_{сж}=5,5\pm 0,0076$ МПа, а добавление в рецептуру ССС голубого фталоцианинового пигмента В-модификации марки Б в количестве 0,5 % от массы извести снизило $R_{сж}$ до $5,45\pm 0,022$ МПа, в количестве 1 % – до $5,375\pm 0,045$ МПа, в количестве 2 % – до $5,275\pm 0,126$ МПа. Наибольшее снижение предела прочности при сжатии отмечено при введении в рецептуру ССС пигмента охра. При содержании пигмента охра в количестве 0,5 % от массы извести предел прочности при сжатии образцов составил $R_{сж}=5,2\pm 0,097$ МПа, а при увеличении содержания пигмента охра до 2 % прочность при сжатии уменьшилась до $R_{сж}=4,99\pm 0,097$ МПа.

Таблица 5.9 – Влияние пигмента на прочность при сжатии известковых образцов на основе добавки, синтезированной в присутствии диатомита

| Вид пигмента | Содержание пигмента, % | Прочность при сжатии $R_{сж}^*$, МПа |
|--|---------------------------|--|
| - | - | $5,5\pm 0,0076$ |
| Голубой фталоцианиновый В- модификации марки Б | 0,5 | $5,45\pm 0,022$ |
| | 1 | $5,375\pm 0,045$ |
| | 2 | $5,275\pm 0,126$ |
| Красный «Ж» | 1 | $5,385\pm 0,0054$ |
| | 2 | $5,195\pm 0,142$ |
| | 3 | $5\pm 0,0072$ |
| Охра | 0,5 | $5,2\pm 0,097$ |
| | 1 | $5,15\pm 0,163$ |
| | 2 | $4,99\pm 0,097$ |

Примечание*. Значения прочности при сжатии указаны с учетом доверительного интервала при надежности 0,95

5.6 Опытнo-производственное опробование. Разработка нормативных документов

5.6.1 Технология приготовления известково-песчаных отделочных составов

В таблице 5.10 представлены сравниваемые показатели технологических и эксплуатационных свойств отделочного состава и покрытий на его основе на основе разработанной сухой смеси и состава-прототипа.

Таблица 5.10 – Технологические и эксплуатационные свойства отделочных составов

| Наименование показателя | Значение показателя разработанного состава | Значение показателя прототипа |
|---|--|-------------------------------|
| Прочность при сжатии, МПа | 5,5 | 2,5 |
| Адгезионная прочность, МПа | 0,89 | 0,7 |
| Марка по морозостойкости F | 35 | 35 |
| Водоудерживающая способность, % | 97,9 | 97 |
| Водопоглощение по массе, % | 10,15 | 12 |
| Водостойкость | 0,73 | - |
| Усадочные деформации, % | 0,024 | - |
| Коэффициент паропроницаемости μ , мг/м·ч·Па | 0,049 | 0,01 |
| Жизнеспособность, час | 1,5 | 2-3 |
| Наличие трещин вследствие усадки | нет | нет |

Технологические и эксплуатационные свойства разработанной сухой смеси сравнивали со свойствами штукатурной смеси «Крепс Антик» на основе воздушной извести, производимой компанией ООО «Крикс» [109]. Таким образом, покрытия на основе разработанной ССС обладают более высокими эксплуатационными свойствами такими, как прочность при сжатии, адгезионная прочность, морозостойкость и др.

5.6.2 Техничко-экономические показатели производства известковой сухой строительной смеси

Процесс производства сухих строительных смесей включает в себя следующие этапы: подготовка компонентов и их сушка, просеивание, помещение исходных материалов в расходные бункеры, дозировка, смешивание, упаковка, складирование.

В состав одной технологической линии входят: дозаторы, смесители для жидких и сыпучих материалов, фасовочный бункер со шнеком, печь сушки песка, вибросито, автоматический шнек и фасовщик. Также должны быть электронные весы, товарные весы, различные приспособления, инструменты и европоддоны.

Из сырья потребуются известь-пушонка, кварцевый песок, диатомит, жидкое натриевое стекло, хлорид кальция, модифицирующие добавки.

Для работы на производстве ССС на одну смену потребуется технолог цеха, рабочий дозировочно-смесительного поста, упаковщик и грузчик.

Полученная ССС упаковывается в бумажные трёх-, четырёхслойные крафт-мешки с полиэтиленовым пакетом-вкладышем, который исключает попадание влаги и посторонних примесей. Сухая смесь упаковывается массой от 5 до 50 кг в одной единице продукции. Хранение и транспортировка сухой смеси возможно только при положительных температурах и при относительной влажности воздуха не более 70%.

Апробация полученных результатов в промышленных условиях осуществлялась на предприятии ООО РСУ «Спецработ». Акт опытно-производственного апробирования известковых сухих строительных смесей приведен в приложении.

В таблице 5.11 представлена калькуляция себестоимости изготовления известковой сухой строительной смеси по предлагаемой технологии при производительности предприятия 3705 т. продукции за год. Стоимость материалов, используемых при производстве сухой строительной смеси, принята по реальным ценам 2015-го года. Таким образом, заводская себестоимость 1 кг сухой строительной смеси составит 4,098 руб (таблица 5.11).

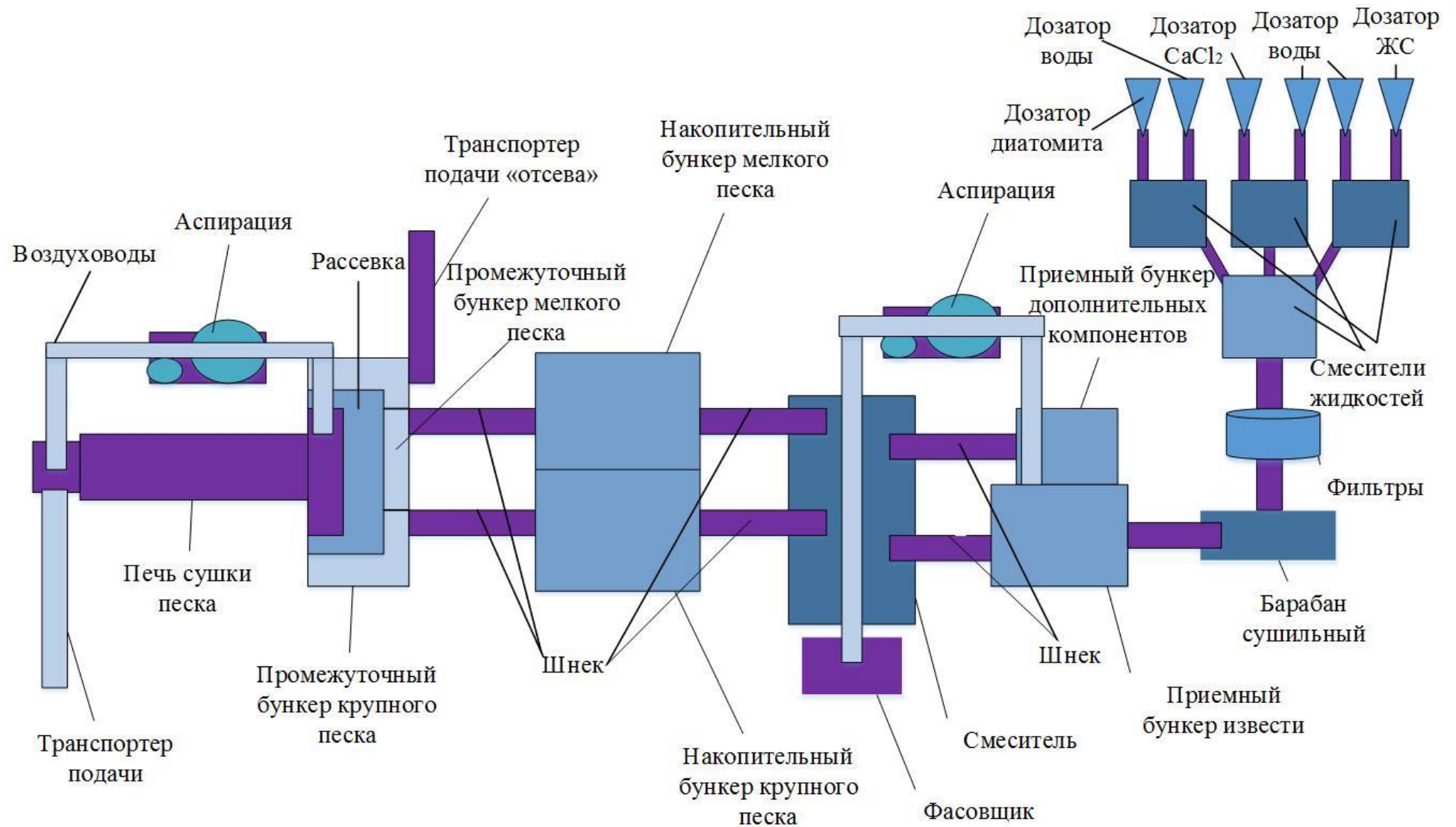


Рисунок 5.8 – Технологическая схема производства сухой строительной смеси на основе добавки ГС

Таблица 5.11 – Калькуляция себестоимости сухой строительной смеси

| № п/п | Наименование затрат | Единица измерения | Цена за единицу измерения, руб | Норма расхода на калькуляционную единицу | Затраты на калькуляционную единицу, руб |
|----------|------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|--|---|
| 1 | Известь | т | 3000 | 0,23185 т | 695,47 |
| | Песок | т | 200 | 0,69557 т | 139,11 |
| | Диатомит | т | 2000 | 0,25423 т | 508 |
| | Хлорид кальция | т | 12000 | 0,01694 т | 202 |
| | Жидкое натриевое стекло | т | 6000 | 0,16949 т | 1014 |
| | Гидрофобизирующая добавка | т | 140000 | 0,0008 т | 112 |
| | Пластифицирующая добавка | т | 45000 | 0,0023 т | 103,6 |
| | Полимерная добавка | т | 137000 | 0,00069 т | 94,53 |
| | Пигмент | т | 308630 | 0,00193 т | 59,55 |
| | Итого: | руб | | | 2929,26 |
| 2 | Вспомогательные материалы | руб | | | 33,43 |
| 3 | Амортизация основного оборудования | руб | | | 60,00 |
| 4 | Электроэнергия на технологические | кВт/ч | 2,6 | 10,67 кВт/ч | 23,742 |

| | | | | | |
|---|--|-----|--|--|---------|
| | цели | | | | |
| 5 | Зарплата работников | руб | | | 656,91 |
| 6 | Дополнительная заработная плата, премии | руб | | | 198,43 |
| 7 | Аренда производственного помещения | руб | | | 157 |
| 8 | Оборудование | руб | | | 40 |
| | Заводская себестоимость 1т | руб | | | 4098,77 |
| | Заводская себестоимость 1кг | руб | | | 4,098 |

Выводы к главе 5

1. Разработан состав сухой смеси для отделочных работ, содержащий известь-пушонку, кварцевый песок фракций 0,63-0,315 мм и 0,315-0,16 мм в соотношении 80:20, гидросиликаты кальция, синтезированные в присутствии диатомита, пластификатор Кратасол ПФМ, релаксифицируемый порошок Neolith P 4400 и гидрофобизатор Zincum 5. Отделочный слой на основе разработанной смеси характеризуется следующими показателями: адгезионная прочность $R_{адг}=0,89$ МПа, паропроницаемость $\mu=0,049$ мг/м²×ч×Па, водопоглощение по массе $W_m=10,15\%$, коэффициент размягчения $K_p=0,73$, марка по морозостойкости F35.

2. Оценена трещиностойкость отделочного слоя на основе разработанного отделочного состава. Определены деформативные свойства покрытий. Установлено, что значения внутренних напряжений, составляющие 0,021 МПа, значительно меньше значения прочности при растяжении, равного 0,39 МПа, а значение предельной растяжимости, составляющее 0,005 мм/мм, больше значения усадочных деформаций, равных 0,00024 мм/мм.

3. Выявлено, что введение в рецептуру известковой сухой смеси добавки на основе гидросиликатов кальция, синтезированных в присутствии диатомита, способствует ускорению процесса раннего структурообразования покрытия в начальный период твердения и увеличению прочности при сжатии 4,4 раза.

3. Разработана технологическая схема производства и нормативный документ сухой строительной смеси на основе добавки ГСК, синтезированной в присутствии диатомита.

Заключение

Итоги выполненного исследования

1. Обоснована возможность повышения стойкости покрытий путем применения в рецептуре отделочного состава добавки на основе гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита, снижающей общую пористость, ускоряющей отверждение покрытий, повышающей прочность и водостойкость за счет образования низкоосновных гидросиликатов кальция, уменьшения портландита и кальцита.

2. Разработан состав сухой строительной смеси, предназначенный для реставрации и отделки стен зданий, содержащий известь-пушонку, кварцевый песок с соотношением фракций 0,63-0,315 мм и 0,315-0,16 мм соответственно 80%:20%, добавку на основе гидросиликатов кальция, синтезированную в присутствии диатомита, пластификатор Кратасол ПФМ, редуцируемый порошок Neolith P 4400 и гидрофобизатор Zincum 5. Отделочный слой на основе разработанной смеси характеризуется следующими показателями: адгезионная прочность $R_{адз}=0,89$ МПа, паропроницаемость $\mu=0,049$ мг/м²×ч×Па, водопоглощение по массе $W_m = 10,15\%$, марка по морозостойкости F35.

3. Разработана технология приготовления и рецептура добавки на основе гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита, для известковых отделочных смесей, заключающаяся в осаждении в присутствии 10-15%-ого раствора CaCl₂ в количестве 50% от массы жидкого стекла с модулем $M=2,9$ и плотностью $\rho=1368$ кг/м³ с добавлением диатомита, при этом соотношение твердая:жидкая фаза (Т:Ж) составляет=1:2. Предложена модель параметров синтеза добавки ГСК, позволяющая оптимизировать расход хлорида кальция и диатомита для получения добавок ГСК, синтезируемых в присутствии диатомита.

4. Выявлено, что добавка на основе гидросиликатов, синтезированная в присутствии диатомита, характеризуется высокой активностью, составляющей $A=370$ мг/г. Установлен гранулометрический состав добавки ГСК,

синтезированной в присутствии диатомита, содержание частиц размером 45,000-100,000 мкм составляет 23,48%, содержание частиц размером 4,000-5,000 мкм – 2,81%. Истинная плотность гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита, составляет $\rho_{ист}=2200$ кг/м³, а насыпная $\rho_{нас}=370$ кг/м³.

5. При изучении структуры добавки ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, наблюдаются новообразования пластинчатой формы, что характерно для низкоосновных гидросиликатов кальция. Методом РФА и ДТА установлено, что минералогический состав добавки ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, представлен гидросиликатами кальция тоберморитовой группы; раствором С–S–Н(II), кварцем, каолинитом и гидрогалитами.

6. Выявлены закономерности структурообразования известкового композита в присутствии добавки на основе гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита. Установлено, что введение в состав ССС добавки на основе гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита, способствуют ускорению отверждения покрытий. Подобрано оптимальное содержание добавки ГСК, составляющие 30% от массы извести. Выявлено, что введение в известковый состав добавки, синтезированной в присутствии диатомита, способствуют повышению прочности при сжатии известковых образцов, уменьшению пористости и увеличению объема закрытых пор композита. Предложена модель твердения известкового композита с добавкой на основе ГСК, синтезированной в присутствии диатомита.

7. Методом РФА и ДТА выявлено, что минералогический состав образцов на основе известковых составов с добавкой ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, характеризуется наличием гидросиликатов кальция CSH(I) и CSH(II), портландита, кальцита и кварца. Установлено, что использование добавки ГСК, синтезированной с применением диатомита, приводит к увеличению гидросиликатов кальция в известковых образцах. Выявлено уменьшение количества химически свободной извести в 1,88 раза по сравнению с контрольным составом.

8. Выявлены закономерности изменения реологических и технологических свойств известковых составов в зависимости от содержания добавки ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, вида пластифицирующей добавки. Показано, что введение добавки на основе ГСК способствует более быстрому набору пластической прочности в зависимости от рецептурно-технологических факторов. Выявлено, что максимальный пластифицирующий эффект отделочного известкового состава с добавкой на основе ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, наблюдается при применении пластификатора Кратасол ПФМ, водоредуцирующий эффект равен 1,7.

9. Выявлено, что известковые композиты с добавкой на основе ГСК, синтезированной в присутствии диатомита, характеризуются пониженными деформациями усадки. Введение в рецептуру известковых составов добавки на основе ГСК способствует повышению водостойкости известкового отделочного слоя в 2,51 раза.

10. Оценена трещиностойкость отделочного слоя на основе разработанного отделочного состава. Определены деформативные свойства покрытий. Установлено, что значения внутренних напряжений, составляющие 0,021 МПа, значительно меньше значения прочности при растяжении, равного 0,39 МПа, а значение предельной растяжимости, составляющее 0,005 мм/мм, больше значения усадочных деформаций, равных 0,00024 мм/мм.

11. Разработана технологическая схема производства сухой отделочной смеси. Рассчитана технико-экономическая эффективность. Разработан нормативный документ – проект стандарта организации, регламентирующий основные свойства разработанных составов.

Рекомендации. Проект стандарта организации СТО «Смеси сухие строительные. Технические условия», а также рецептуру и технологию изготовления известковых сухих строительных смесей с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной с применением диатомита, рекомендуется внедрить на предприятиях по производству сухих строительных смесей. Теоретические положения диссертационной работы и результаты

экспериментальных исследований рекомендуются для использования в учебном процессе для подготовки бакалавров по направлению «Строительство».

Перспективы дальнейшей разработки темы. Положения и выводы, изложенные в диссертации, могут представлять методологическую основу для продолжения исследования.

Список литературы

1. Александровский, С.В. Экспериментально – теоретические исследования усадочных деформаций в бетоне / Александровский, С.В. – М.: Стройиздат, 1965. – 285 с.
2. Андерхальт, Р. Растровая электронная микроскопия для нанотехнологий. Методы и применения / Р. Андерхальт, П. Анзалоне, Р. Апкариан, А. Борисевич. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013. – 600 с.
3. Афанасьева, Н.Ю. Вычислительные и экспериментальные методы научного эксперимента / Н.Ю. Афанасьева. – М.: КНОРУС, 2010. – 336с.
4. Балмасов, Г.Ф. Современные добавки для производства сухих строительных смесей / Г.Ф. Балмасов, М.А. Прохоренко, Н.А. Душин // Строительные материалы. – 2005. – № 4. – С. 36-38.
5. Баталин, Б.С. Исследования эффективности добавок, применяемых для производства сухих строительных смесей / Б.С. Баталин // Успехи современного естествознания. – 2007. – № 7. – С. 60-62.
6. Беляев, Е.В. Производство сухих строительных смесей: проблемы и перспективы / Е.В. Беляев // Сухие строительные смеси. – №4. – 2014. – С. 8-9.
7. Берг, Л.Г. Введение в термографию. 2-е доп-е. / Л.Г. Берг. – М: Наука, 1969. – 395с.
8. Большаков, Э.Л. Сухие смеси для отделочных работ / Э.Л. Большаков // Строительные материалы. – 1997. – №7. – С. 8-9.
9. Ботка, Е.Н. Рынок сухих строительных смесей России: изменение характера роста / Е.Н. Ботка // Новости строительной индустрии. – 2008. – № 10-11(77-78). Режим доступа: <http://www.spsss.ru/confer/conferarchive/reports/doclad08/botka.doc>.
10. Боченин, В.И. Количественный рентгенофазовый анализ сыпучих сырьевых материалов по регистрации дифракционного и характеристического излучений / В.И. Боченин // Дефектоскопия. – 2007. – № 11. – С. 83-87.
11. Василик, П.Г. Трещины в штукатурках / П.Г. Василик, И.В. Голубев // Строительные материалы. – 2003. – №4. – С. 14-16.

12. Виноградов, Б.Н. Влияние заполнителей на свойства бетона / Виноградов, Б.Н. – М.: Стройиздат, 1979. – 224 с.

13. Волженский, А.В. Гипсоцементнопуццолановые вяжущие, бетоны и изделия / А.В. Волженский, В.И.Стамбулко, А.В. Ферронская. – М.: Стройиздат, 1971. – 318 с.

14. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества. 3-е изд., перераб. и доп. / А.В. Волженский, Ю.С. Буров, В.С. Колокольников. – М.: Стройиздат, 1979. – 476 с.

15. Высоцкий, С.А. Минеральные добавки для бетонов / С.А. Высоцкий // Бетон и железобетон. – 1994. – № 2. – С. 7-10.

16. Гальперина, М.К. Синтез волластонита из трепела / М.К. Гальперина, О.С. Грум-Гржимайло, В.С. Митрохин, Н.П. Тарантул // Стекло и керамика. – 1982. – № 2. – С. 16-17.

17. Гильбо, Е.В. Экономика и энергетика России: перспективы в условиях базовых природных ограничений [Электронный ресурс] / Е.В. Гильбо // Экологические системы. – 2003. – № 1. – Режим доступа: http://esco-ecosys.narod.ru/2003_1/art03.htm.

18. Gladun, V.D. Получение ксонотлита и перспективы его применения / В.Д. Gladun, О.В. Акатьева, Н.Н. Андреева, А.И. Холькин // Химическая технология. – 2008. – № 5. – С. 201-204.

19. Gladun, V.D. Получение и применение синтетического волластонита из природного и техногенного сырья / В.Д. Gladun, Л.В. Акатьева, Н.Н. Андреева, А.И. Холькин // Химическая технология. – 2004. – № 9. – С. 4-11.

20. Golubev, V.I. Новые продукты на рынке добавок для сухих строительных смесей и бетонов / В.И. Golubev, П.Г. Василик // Строительные материалы. – 2006. – № 3. – С. 24-25.

21. Gontar, Yu.V. Модифицированные сухие смеси для отделочных работ / Ю.В. Gontar, А.И. Чалова // Строительные материалы. – 2001. – № 4. – С. 8-10.

22. Goreglyad, S.Yu. Российские дни сухих строительных смесей – 2011 / С.Ю. Goreglyad, Л.В. Сапачева // Строительные материалы. – 2011. – № 12. – С. 54-55.

23. Горегляд, С.Ю. Использование модифицирующих добавок при производстве сухих строительных смесей / С.Ю. Горегляд // Строительные материалы. – 2001. – № 8. – С. 28-29.

24. Горчаков, Г.И. Трещиностойкость и водостойкость легких бетонов / Г.И. Горчаков, Л.П. Орендлихер, Э.Г. Мурадов. – М.: Стройиздат, 1971. – 180 с.

25. Горчаков, Г.И. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений / Г.И. Горчаков, М. М. Капкин, Б.Г. Скрамтаев. – М.: Стройиздат, 1965. – 195 с.

26. Горшков, В.С. Вяжущие, керамика и стекло. Кристаллические материалы: структура и свойства: справочное пособие / В.С. Горшков, В.Г. Савельев, А.В. Абакумов. – М.: Стройиздат, 1995. – 584 с.

27. ГОСТ 10060-2012 Бетоны. Методы определения морозостойкости. – М: Стандартиформ, 2014. – 23 с.

28. ГОСТ 13078-81 Стекло натриево жидкое. Технические условия. – М: Стандартиформ, 2005. – 15 с.

29. ГОСТ 18299-72* Материалы лакокрасочные. Метод определения предела прочности при растяжении, относительного удлинения при разрыве и модуля упругости. – М: Государственный стандарт союза СССР, 1989. – 10 с.

30. ГОСТ 18958-71 Краски силикатные. – М: Государственный стандарт союза СССР, 1973. – 13 с.

31. ГОСТ 19007-73 * Материалы лакокрасочные. Метод определения времени и степени высыхания. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 7 с.

32. ГОСТ 23732-2011 Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия. – М: Стандартиформ, 2012. – 16 с.

33. ГОСТ 31356-2007 Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний. – М.: МНТКС, 2008. – 16с.

34. ГОСТ 32299-2013 Материалы лакокрасочные. Определения адгезии методом отрыва. – М: Стандартиформ, 2014. – 15 с.

35. ГОСТ 450-77 Кальций хлористый технический. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2008. – 18 с.

36. ГОСТ 50779.21-2004 Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1. Нормальное распределение. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 47 с.

37. ГОСТ 5802-86 Растворы строительные методы испытания. – М.: Стандартиформ, 2010. – 16 с.

38. ГОСТ 6992-68 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Метод испытаний на стойкость в атмосферных условиях. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 10 с.

39. ГОСТ 8736-93 Песок для строительных работ. Технические условия. – М.: МНТКС, 2009. – 14 с.

40. ГОСТ 9179-77 Известь строительная. Технические условия. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. – 7 с.

41. Грачев, Ю.П. Математические методы планирования экспериментов / Ю.П. Грачев, Ю.М. Плаксин. – М.: ДеЛи. Принт, 2005. – 296 с.

42. Григорян, Г.О. Волластонит. Получение и применение / Г.О. Григорян, А.Б. Мурадян, К.Г. Григорян // Армянский химический журнал. – 1990. – № 5. – С. 296-315.

43. Декоративная штукатурка Saracol [Электронный ресурс]: Сухие строительные смеси [сайт] – Режим доступа: <http://ligaton.ru/>

44. Дергунов, С.А. Проектирование составов сухих строительных смесей / С.А. Дергунов, В.Н. Рубцова. – М.: Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2008. – 97 с.

45. Дерягин, Б.В. Адгезия твердых тел / Б.В. Дерягин, Н.А. Кротова, В.П. Смилга. – М.: Наука, 1973. – 279 с.

46. Дорошенко, Ю.М. Процессы структурообразования и свойства цементного камня с полимерными модификаторами / Ю.М. Дорошенко, Ж.И. Шанаев // Тезисы докладов научной конференции 12-16 июня 1989. – 1989. – С. 273-276.

47. Еремин, А.А. Сухие смеси ускоряют производство работ / А.А. Еремин // Сельское строительство. – 1998. – № 9. – С. 19.

48. Ермаков, С.М. Математическая теория оптимального эксперимента / С.М. Ермаков, Жиглявский А.А. – М.: Наука, 1987. – 318 с.

49. Жерновский, И.В. Особенности фазообразования в системе CaO-SiO₂-H₂O в присутствии наноструктурированного модификатора / И.В. Жерновский, В.В. Нелюбова, А.В. Череватова, В.В. Строкова // Строительные материалы. – 2009. – №11. – С. 101-102.
50. Завражин, Н.Н. Производство отделочных работ в строительстве. Зарубежный опыт / Н.Н. Завражин, Г.В. Северинова, Ю.Е. Громов. – М.: Стройиздат, 1987. – 310 с.
51. Значко-Яворский, И.Л. Очерки истории вяжущих веществ / И.Л. Значко-Яворский. – М.: АН СССР, 1963. – 496 с.
52. Зоткин, А.Г. Применение наполнителей в строительных смесях / А.Г. Зоткин // Сухие строительные смеси. – 2009. – № 3. – С. 66-69.
53. Иванов, С.Э. Диатомит и области его применения / С.Э. Иванов, А.В. Беляков // Стекло и керамика. – 2008. – № 2. – С. 18 – 21.
54. Изотов, В.С. Химические добавки для модификации бетона / В.С. Изотов, Ю.А. Соколова. – М.: Палеотип, 2006. – 244 с.
55. Илюхин, В.В. Гидросиликаты кальция. Синтез монокристаллов и кристаллохимия / В.В. Илюхин, В.А. Кузнецов, А.Н. Лобачёв, В.С. Бакшуттов. – М.: Наука, 1979. – 184 с.
56. Казарновский, З.И. Сухие смеси важный фактор повышения эффективности и культуры строительства / З.И. Казарновский // Строительные материалы. – 2000. – №5. – С. 34-35.
57. Карякина, М.И. Физико-химические основы процессов формирования и старения покрытий / М.И. Карякина. – М.: Химия, 1980. – 216 с.
58. Каушанский, В.Е. Некоторые закономерности гидратационной активности силикатов кальция / В.Е. Каушанский // Прикладная химия. – 1977. – № 8. – С. 1688-1692.
59. Классическая финишная штукатурка Рунит [Электронный ресурс]: информация о продукции ООО Ажиопроект // Сухие строительные смеси Ажио: [сайт]. – Режим доступа: <http://www.agioproject.ru/products/243/>.

60. Клочанов, П.Н. Рецептурно-технологический справочник по отделочным работам / П.Н. Клочанов, А.Е. Суржаненко, И.Ш. Эйдинов. – М.: Стройиздат, 1973. – 320 с.
61. Корнеев, В.И. Рецептурный справочник по сухим строительным смесям / В.И. Корнеев [и др.]. – М.: СПб.: Квинтет, 2010. – 316 с.
62. Костовская, Е.Н. Применение силикатных наполнителей в лакокрасочных материалах / Е.Н. Костовская, Л.В. Сутарева // Химическая промышленность за рубежом. – 1988. – Вып. 1 (301). – С. 78-84.
63. Кристаллоструктурные параметры [Электронный ресурс] // WWW Минкрисст. Кристаллографическая и кристаллохимическая база данных для минералов и их структурных аналогов. – М., 1997-____. Режим доступа: <http://database.iem.ac.ru/mincryst/rus/search.php?select=Structure>.
64. Куколев, Г.В. Химия кремния и физическая химия силикатов / Г.В. Куколев. – М.: Высшая школа, 1966. – 463 с.
65. Лейкин, А.С. Защитные покрытия для заводской отделки элементов зданий / А.С. Лейкин. – М.: Стройиздат, 1963. – 134 с.
66. Лесовик, В.С. Формирование структуры и свойств известково-реставрационных композитов / В.С. Лесовик, И.Л. Чулкова // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2010. – № 2. – С. 41-45.
67. Логанина, В.И. Свойства известковых композитов с силикатсодержащими наполнителями / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, К.А. Сергеева // Строительные материалы. – №3. – 2012. – С. 30-31.
68. Логанина, В.И. Известковые составы для реставрации и отделки зданий и сооружений / В.И. Логанина, О.А. Давыдова, О.В. Карпова // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2012. – № 4 (140). – С. 280-283.
69. Логанина, В.И. Известковые составы для реставрации стен зданий и сооружений / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, К.А. Сергеева // Отраслевые аспекты технических наук. – 2013. – № 9 (33). – С. 22-25.

70. Логанина, В.И. Красочные составы на основе полиминеральных связующих / В.И. Логанина, О.В. Карпова, А.С. Мишин. – М.: Пенза: Центр научно-технической информации, 1998. – 109 с.

71. Логанина, В.И. Структура и свойства тонкодисперсных наполнителей на основе силикатов кальция для сухих строительных смесей / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, К.А. Сергеева // Вестник гражданских инженеров. – 2012. – № 2. – С. 167-169.

72. Логанина, В.И. Структурообразование известковых композитов в присутствии синтезированных добавок на основе гидросиликатов кальция / В.И. Логанина, И.С. Пышкина // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2015. – № 1. – С. 81-83.

73. Логанина, В.И. Сухие строительные смеси с наполнителями на основе гидросиликатов кальция / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, К.А. Сергеева, Е.В. Королев // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2013. – № 2 (39). – С. 222-228.

74. Макаревич, М.С. Сухие строительные смеси для штукатурных работ с тонкодисперсными минеральными добавками: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Макаревич Марина Сергеевна. – Томск, 2005. – 22 с.

75. Макарова, Л.В. Анализ методов оценки трещиностойкости строительных композитов / Л.В. Макарова, Р.В. Тарасов, В.А. Калинина // Современные научные исследования и инновации. – 2015. – № 4.

76. Макарова, Л.В. Методы оценки трещиностойкости защитно-декоративных покрытий / Л.В. Макарова, Р.В. Тарасов, В.А. Калинина // Современные научные исследования и инновации. – 2015.– № 4.

77. Макарова, Л.В. Повышение трещиностойкости защитно-декоративных покрытий наружных стен зданий: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05: защищена 2004. – Пенза, 2004.-153 с.

78. Мамедов, Х.С. Кристаллическая структура волластонита / Х.С. Мамедов, Н.В. Белов // Доклады Академии наук СССР, 1956. – № 3. – С. 463-466.

79. Мамедов, Х.С. Силикаты и гидросиликаты кальция / Х.С. Мамедов. – Баку. Элм., 1960. – 125 с.
80. Мартиросян, Г.Г. Тезисы докладов Всесоюзного семинара «Гидросиликаты кальция и их применение». – Каунас, 1980. – 91 с.
81. Мешков, П.И. Способы оптимизации составов сухих строительных смесей // П.И. Мешков, В.А. Мокин // Строительные материалы. – 2000. – №5. – С.12-15.
82. Микульский, В.Г. Склеивание бетона / В.Г. Микульский, В.В. Козлов. – М.: Стройиздат, 1975. – 236 с.
83. Невилль, А.М. Свойства бетона. Пер. с англ. В. Д. Парфенова и Т.Ю. Якуб. – М.: Стройиздат, 1972. – 344 с.
84. Никитин, М.К. Химия в реставрации / М.К. Никитин, Е.П. Мельникова. – М: Ленинград: Химия, 1990. – 294 С.
85. Новости строительного комплекса // Сухие строительные смеси. – №4. – 2014. – С. 4-7.
86. Орендлихер, Л.П. Влияние качества подложки на кинетику разрушения покрытий цементных бетонов / Л.П. Орендлихер, В.И. Логанина, Н.И. Макридин // Промышленное строительство. – 1991. – № 12. – С. 30-31.
87. Орлова, Н.А. Применение природного минерала игольчатого типа волластонита в сухих строительных смесях / Н.А. Орлова, А.М. Белоусов // Ползуновский вестник. – 2008. – № 1-2. – С. 94-96.
88. Пат. 2090501 Российская Федерация, С01В33/24 Способ получения тонкодисперсного волластонита / В.Д. Гладун, Н.Н. Андреева, А.П. Нилов, А.П. Волошкин, А.Н. Ивашкевич, С.А. Романчук, В.А. Ильин владелец и патентообладатель Егорьевский технологический институт им. Н.М. Бардыгина МГТУ "Станкин", 6 с.
89. Пат. 2133218 Российская Федерация, С01В33/12 Способ получения высокодисперсных порошков / В.А. Лотов, В.И. Верещагин, В.И. Косинцев, Ю.В. Пасечников владелец и патентообладатель Томский политехнический университет, 4 с.

90. Пат. 2497772 Российская Федерация, С04В28/22 С04В41/65 С04В111/27 Состав для отделки / Е. В. Королев, В. И. Логанина, Л. В. Макарова, К. А. Сергеева, заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный университет архитектуры и строительства" (ПГУАС). 4с.

91. Пат. 597637 Способ получения гидросиликатов калия, С01В3/24 К.И. Саснаускас, А.К. Гармуте, А.А. Развадаускас владелец и патентообладатель Каунасский политехнический институт им, Антанаса Снечкуса, 2 с.

92. Пат. 94694 Румыния, С01В33/24 Получение силиката кальция в форме ксонотлита и волластонита. // РЖХ 1989, 16Л241П.

93. Пащенко, А.А. Вяжущие материалы /А.А. Пащенко, В.П. Сербии, А.А. Старчевская. – М.: Киев: Издательское объединение «Вища школа», 1975. – 443 с.

94. Петров, В.П. Волластонит как минерал и полезное ископаемое / В.П. Петров. – М.: Наука, 1982. – С. 5-15.

95. Попов, Л.Н. Новые отделочные и декоративные материалы в строительстве XXI века / Л.Н. Попов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2007. – № 2. – С. 36-38.

96. Пухаренко, Ю.В. Реставрация исторических объектов с применением современных сухих строительных смесей / Ю.В. Пухаренко, А.М. Харитонов, Н.Н. Шангина, Т.Ю. Сафонова // Вестник гражданских инженеров. – 2011. – № 1. – С. 98-103.

97. Рамачандран, В.С. Добавки в бетон: Справочное пособие / В.С. Рамачандран, Р.Ф. Фельдман, М. Коллепарди и др – М.: Стройиздат, 1988. – 567 с.

98. Ратинов, В.Б. Добавки в бетон / В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. – М.: Стройиздат, 1989. – 188 с.

99. Ребиндер, П.А. О методе погружения конуса для характеристики структурно-механических свойств пластично-вязких тел / П.А. Ребиндер, Н.А. Семенов // Доклады Академии Наук СССР. – 1949. – № 6. – С. 835-838.

100. Рейнер, М. Реология / М. Рейнер; пер. с англ; под ред. Э.И. Григолюка // М.: Наука, 1965. – 224 с.

101. Росс, Х. Штукатурка. Материалы, техника производства, предотвращение дефектов: практическое руководство / Х. Росс, Ф. Шталь; пер. с нем.; под общ. ред. П. В. Зозуля. – М.: СПб. РИА «Квинтет», 2006. – 300 с.
102. Рубцова, В.Н. Оптимизация минеральной части сухих строительных смесей / В.Н. Рубцова, С.А. Дергунов // Сборник тезисов докладов 3 Международной конференции BaltiMix. – 2003. – С. 41-46.
103. Савилова, Г.Н. Штукатурные смеси общего и специального назначения / Г.Н. Савилова // Строительные материалы. – 1999. – № 11. – С. 13-16.
104. Самойлов А. Ода извести. От реставрации к новому строительству / А. Самойлов // Строительство и городское хозяйство. – 2010. – №121.
105. Саснаускас, К.И. Синтез гидросиликатов кальция / К.И. Саснаускас, А.А. Развадаускас, А.А. Баландис, А.И. Аугонис // Научные труды высших учебных заведений Литовской ССР. Серия: Химия и химическая технология. – 1973. – № 15. – С. 385-405.
106. Смолеговский, А.М. Развитие представлений о структуре силикатов / А.М. Смолеговский. – М.: Наука. – 1979. – 231 с.
107. Соловьев, В.И. Бетон с гидрофобизирующими добавками / В.И. Соловьев. М.: Наука, 1990. – 112 с.
108. Сулименко, Л.М. Технология минеральных вяжущих и изделий на их основе / Л.М. Сулименко. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2000. – 303 с.
109. Сухие строительные смеси Крепс [Электронный ресурс]: Сухие строительные смеси [сайт] – Режим доступа: <http://kreps.ru/>
110. Тарасов, Р.В. Выбор технологии получения наноразмерных модификаторов для строительных композитов / Р.В. Тарасов, Л.В. Макарова, О.В. Королева, Ю.В. Грачева // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2010. – № 10. – С. 18-22.
111. Тейлор, Ф.Х.У. Гидросиликаты кальция / Ф.Х.У. Тейлор // Химия цементов. – М.: Стройиздат, 1969. – 104-166 с.

112. Телешов, А.В. Новые заводы по производству сухих смесей / А.В. Телешов // Строительные материалы. – 2003. – № 11. – С. 12-15.
113. Тюльнин, В.А. Волластонит - уникальное минеральное сырье многоцелевого назначения / В.А. Тюльнин, В.Р. Ткач, В.И. Эйрих, Н.П. Стародубцев. – М.: Руда и металлы, 2003. – 152с.
114. Фаликман, В.Р. Новое поколение суперпластификаторов / В.Р. Фаликман, А.Я. Вайнер, Н.Ф. Башлыков // Бетон и железобетон. – 2000. – № 5. – С. 5-7.
115. Фаликман В.Р. Новое поколение суперпластификаторов в современной технологии бетона-поликарбоксилаты / В.Р. Фаликман // Вопросы применения нанотехнологий в строительстве: сборник докладов участников круглого стола. – М.: МГСУ, 2009. С. 111—119.
116. Циросани, З.Н. Усадка и ползучесть бетона /З.Н. Циросани. – М.: Тбилиси: Мецнисреба, 1979. – 230 с.
117. Чернышов, Е.М. Нанотехнологические исследования строительных композитов: общие суждения, основные направления и результаты / Е.М. Чернышов // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2009. – № 1. – С. 45-59.
118. Школьник, Я.Ш. О механизме формирования гидросиликатов кальция / Я.Ш. Школьник // Цемент и его применение. – 1983. – № 1. – С. 19-21.
119. Шоболов, С.П. Волластонит / С.П. Шоболов // Итоги науки и техники. Неметаллические полезные ископаемые. – М.: ВИНТИ, 1977. – Т. 5. – С. 60-65.
120. Шульц, М.М. Силикаты в природе и практике человека / М.М. Шульц // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – № 8. – С. 45-51.
121. Шульце, В. Растворы и бетоны на нецементных вяжущих / В. Шульце, В. Тишер, П. Эттель. – М.: Строиздат, 1990. – 239 с.
122. Юхневский, П.И. О механизме пластификации цементных композиций / П.И. Юхневский // Строительная наука и техника. – 2010. – № 1-2. – С. 64–69.

123. Яковис, Л.М. Многокомпонентные смеси для строительства. Расчетные методы оптимизации состава // Л.М. Яковис. – М.: 1988. – 296 с.
124. Ярусова, С.Б. Синтез силикатов кальция в многокомпонентных системах и их физико-химические свойства: автореф. дис. канд. хим. наук: 02.00.04 / Ярусова Софья Борисовна. – Владивосток. – 2010. – 28 с.
125. Allen, W.I. Lime as a building material. / W. Allen, I. Allen, L.A. McDonald // The structural engineer. – 2003. – № 17. – 317 p.
126. Andrews, R.W. Wollastonite // Inst, geolog. Scientific Mining res. divis. – 1970. – Vol. 44. – P. 1-7.
127. Boynton, R. Chemistry and Technology of Lime and Limestone. 2nd edition / R. Boynton. – New York: Wiley & Sons. – 578 p.
128. Buerger, M.J. The crystal structures of wollastonite and pectolite / M.J. Buerger, C.T. Prewitt // Proceedings of the National Academy of Sciences of U.S.A. – 1961. – Vol. 47. – P. 1884-1888.
129. Cummins, A.B. Equilibrium and Rate of Reaction in the System Hydrated Lime-Diatomaceous Silica-Water / A.B. Cummins, L.B. Miller. – Ind. Eng. chem, 1934. – 688 p.
130. Degirmenci, N. Use of diatomite as partial replacement for Portland cement in cement mortars / N. Degirmenci, A. Yilmazb // Construction and Building Materials. – 2009. – Vol. 23. – P. 284-288.
131. Domone, P. Construction materials: their nature and behavior. Fourth edition / P. Domone, J. Illston – Spon press. – 2010. – 568 p.
132. Emrullahoglu, S.B. Syntetic wollastonite production from raw and tailing materials / S.B. Emrullahoglu, C.B. Emrullahoglu, O.F. Emrullahoglu // Key Engineering Materials. – 2004. – Vol. 264-268. – P. 2485-2488.
133. Ergün, A. Effects of the usage of diatomite and waste marble powder as partial replacement of cement on the mechanical properties of concrete / A. Ergün // Key Engineering Materials. – 2011. – Vol. 25. – P. 806-812.
134. Falchi, L. Statistical analysis of the physical properties and durability of water-repellent mortars made with limestone cement, natural hydraulic lime and

pozzolana-lime / L. Falchi, C. Varin, G. Toscano, E. Zendri // *Construction and Building Materials*. – 2015. – Vol. 78. – P. 260-270.

135. Kalousek, G.L. *Crystal Chemistry of Hydrous Calcium Silicates: Morphology and Other Properties of Tobermorite and Related Phases* / G.L. Kalousek, A.F. Prebus. – J. Amer. Ceram. SOC., 1958.

136. Kalousek, G L. *Tobermorite and Related Phases in the System CaO-SiO₂-H₂O* – Amer. Concr.Inst. – 1955-989 p.

137. Kalousek, G.L. *Crystal Chemistry of Hydrous Calcium Silicates: Morphology and Other Properties of Tobermorite and Related Phases* / G.L. Kalousek, A.F. Prebus, J. Amer. Ceram. SOC., 1958 p.

138. Kartal, A. *Synthesis of wollastonite by using various raw materials* / A. Kartal, S. Akpınar // *Key Engineering Materials*. – 2004. – Vols. 264-268. – P. 2469-2472.

139. Kjellsen, K.O. *Influence of natural mineral in the filler fraction on hydration and properties of mortars* / K.O. Kjellsen, B. Lagerblad // *Swedish Cement and Concrete Research Institut*. – Stockholm., 1995. – P. 41.

140. Loganina, V.I. *Application of activated diatomite for dry lime mixes* / V.I. Loganina, E.E. Simonov, W. Jezierski, T. Zhang // *Construction and Building Materials*. – 2014. – Vol. 73. – P. 33-40.

141. Loganina, V.I. *Increase water resistance decorative coatings on the basis of calcareous dry building mixtures* / V.I. Loganina, L.V. Makarova, R.V. Tarasov, K.A. Sergeeva // *Advanced Materials Research*. – 2015.–T. 1078. – P. 171.

142. Loganina, V.I. *Method of building optimization of composites based on the criterion analysis* / V.I. Loganina, L.V. Makarova, V.G. Camburg, N.Y. Bodazhkov // *Contemporary Engineering Sciences*. – 2014. – № 25-28. – P. 1555-1563.

143. Ohashi, Y. *Polysynthetically-twinned structures of enstatite and wollastonite* / Y. Ohashi // *Physics and Chemistry of Minerals*. – 1984. – Vol. 10. – P. 217 - 229.

144. Pat. 1221060 GB, IPC C04B 28/18, C04B 28/00 Improvements in and relating to calcium silicate insulation/ Laidler Thomas Gordon, Booth Dennis. – №19670058651 19671227, dec. 1967-12-27, iss: 1971-02-03.
145. Pat. 63-330810, JP, C 01 B 33/26, Process for producing clay mineral of chain structure / Mizutani; Tadashi, Fukushima; Yoshiaki, Doi; Haruo, Kamigaito; Osami. №07/457,835, iss. 27.12.1989.
146. Rajgelj, S. Cohesion Aspects in Rheological Behaviour of Fresh Cement Mortars / S. Rajgelj // Mater. et constr. – 1985. – №104. – P. 109-114.
147. Ramachandran, V.S. Handbook of thermal analysis of construction materials / V.S. Ramachandran, Ralph M. Paroli, James J. Beaudoin, Ana H. Delgado – Noyes publications. – 2002. – 655 p.
148. Silva, B.A. Influence of natural hydraulic lime content on the properties of aerial lime-based mortars / B.A. Silva, A. P.F. Pinto, A. Gomes // Construction and Building Materials. – 2014. – Vol. 72. – P. 208-218.
149. Trojer F.J. The crystal structure of parawollastonite // Z. Kristallogr. – 1968. – Vol. 127. – P. 291-308.
150. Yamanaka, T. The Structure and Polytypes of α -CaSiO₃ (Pseudowollastonite) / T. Yamanaka, H. Mori // Acta Cryst. – 1981. – Vol. 37. – P. 1010-1017.

Приложения

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
Ремонтно-строительное управление «Спецработ»

Юридический адрес: 440028, г. Пенза, ул. Г. Титова, д. 1

Территориальный адрес: 440052, г. Пенза, ул. Набережная реки Мойки, 41 «В»

Тел: 32-28-22, Факс: 32-28-21

ИНН 5835025042 КПП 583501001 Р/с 40702810948000110814 Отделение № 8624

Сбербанка России г. Пенза БИК 045655635 к/с 30101810000000000635

«22» июня 2015 г.

АКТ

опытно-производственного апробирования сухих строительных смесей с применением добавки на основе гидросиликатов кальция

Мы, нижеподписавшиеся, генеральный директор ООО РСУ «Спецработ» Пшестилевский В.А., начальник ПТО ООО РСУ «Спецработ» Алешина Т.А., профессор ПГУАС Логанина В.И., аспирант ПГУАС Пышкина И.С., составили настоящий акт о том, что нами было произведено опытно-производственное апробирование сухих строительных смесей, разработанных на кафедре «Управление качеством и технология строительного производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» Логаниной В.И., Пышкиной И.С.. Состав сухой строительной смеси включает: известь-пушонку, мелкий заполнитель (песок Ухтинского месторождения фракций 0,63-0,0315 мм. и 0,315-0,14 мм. в соотношении 80:20), добавка на основе гидросиликатов кальция, суперпластификатор Кратасол ПФМ, диспергируемый порошок Neolith P 4400, гидрофобизатор Zincum 5.

Отделочный состав готовили перемешиванием сухой строительной смеси с водой в барабане лопастной мешалки.

Были отделаны поверхности железобетонных стеновых панелей зданий складского помещения. Перед нанесением декоративного отделочного состава поверхность очищалась от пыли, грязи и просушивалась. Состав наносился ручным способом. При нанесении отделочного состава отмечалась его хорошая удобоаносимость. Расход смеси составил 12,8 кг/м² при нанесении толщиной 10 мм. Общее количество отделанной поверхности составило 610 м².

При визуальном осмотре растрескивания и отслаивания не зафиксировано.

Генеральный директор
ООО РСУ «Спецработ»

Начальник ПТО
ООО РСУ «Спецработ»

Профессор ПГУАС

Аспирант ПГУАС



В.А. Пшестилевский



Т.А. Алешина



В.И. Логанина



И.С. Пышкина



Российская Федерация
Общество с ограниченной ответственностью
Ремонтно-строительное управление
«Спецработ»

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ООО РСУ «Спецработ»

В.А. Пшестилевский



«26» мая 2015 г.

СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ

Технические условия

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184 – ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения стандартов организации – ГОСТ Р 1.4-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций».

Сведения о стандарте организации

1. РАЗРАБОТАН И ВНЕСЕН Обществом с ограниченной ответственностью «Ремонтно-строительным управлением «Спецработ»». В разработке стандарта принимали участие главный инженер ООО РСУ «Спецработ» Тригулов Р.И. и аспирант ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» Пышкина И.С.

2. УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ

3. ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| 1. Область применения..... | 4 |
| 2. Нормативные ссылки..... | 4 |
| 3. Термины и определения..... | 5 |
| 4. Технические требования..... | 6 |
| 5. Правила приемки..... | 7 |
| 6. Методы испытаний..... | 9 |
| 7. Маркировка..... | 10 |
| 8. Требования безопасности окружающей среды..... | 10 |
| 9. Упаковка..... | 12 |
| 10. Транспортирование и хранение..... | 13 |
| 11. Гарантии изготовителя..... | 13 |

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

СМЕСИ СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ

Введён впервые

Технические условия

Дата введения 22 июня 2015 г.

1. Назначение и область применения

Настоящий стандарт устанавливает организацию, порядок и контроль производства известкового штукатурного отделочного состава с добавкой гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита.

Стандарт распространяется на отделочные составы, предназначенные для реставрации памятников архитектуры и зданий исторической застройки, а также для наружной и внутренней отделки стен зданий.

2. Нормативные ссылки

В настоящем техническом регламенте использованы ссылки на следующие нормативные документы:

- ГОСТ 8.568-97 Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения;
- ГОСТ 12.1.005-8 ССБТ. Общие санитарно-технические требования к воздуху рабочей зоны;
- ГОСТ 19007-73* Материалы лакокрасочные. Метод определения времени и степени высыхания;
- ГОСТ 9179-77 Известь строительная. Технические условия;
- ГОСТ 450-77 Кальций хлористый технический. Технические условия;
- ГОСТ 13078-81 Стекло натриево жидкое. Технические условия

- ГОСТ 8736-93 Песок для строительных работ. Технические условия;
- ГОСТ 23732-2011 Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия;
- ГОСТ 5802-86 Растворы строительные методы испытания;
- ГОСТ 32299-2013 Материалы лакокрасочные. Определения адгезии методом отрыва;
- ГОСТ 18299-72* Материалы лакокрасочные. Метод определения предела прочности при растяжении, относительного удлинения при разрыве и модуля упругости;
- ГН 2.2.5.1313-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы»;
- ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Гигиенические нормативы».

3. Термины и определения

В настоящем стандарте применяют следующие термины, обозначения и сокращения:

3.1. смеси сухие строительные: Смеси сухих компонентов, содержащие вяжущие, наполнители, заполнители, модифицирующие до-банки и изготовленные и заводских условиях.

3.2. смеси сухие штукатурные: Смеси, предназначенные для выравнивания стен и потолков, придания декоративных свойств (при необходимости).

3.3. смеси сухие ремонтные: Смеси, предназначенные для восстановления геометрических и эксплуатационных показателей бетонных, железобетонных и каменных конструкций.

3.4. смеси сухие ремонтные поверхностные: Смеси, предназначенные для восстановления геометрических и эксплуатационных показателей конструкций их поверхностной обработкой.

3.5. смеси сухие декоративные: Смеси, предназначенные для окончательной отделки поверхности конструкций и придания ей определенной цветовой гаммы, рельефной фактуры.

3.6. смеси сухие растворные: Смеси, содержащие мелкий наполнитель

4. Технические требования

5.2 Сухие строительные смеси должны соответствовать требованиям настоящего стандарта и изготавливаться по технологической документации, утвержденной предприятием-изготовителем.

5.3 Требования к материалам

5.3.1 Для приготовления смесей следует применять материалы:

- известь гидратная (пушонка) по ГОСТ 9179;
- песок фракций: 0,63-0,315 и 0,315-0,14 по ГОСТ 8736;
- модифицирующие добавки по нормативной документации предприятия-изготовителя.

5.3.2 Материалы, применяемые для производства смесей, должны быть разрешены к применению органами Госсанэпидем службы.

5.3.3 Химические добавки не должны выделять в окружающую среду вредные вещества в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК).

5.4 Характеристики

5.4.1 Свойства сухих строительных смесей должны характеризоваться показателями качества смесей в сухом состоянии, смесей, готовых для применения (растворных смесей) и затвердевших смесей.

5.5 Требования к сухим затвердевшим смесям

5.5.1 Влажность штукатурных смесей не должна превышать 0,30% по массе.

5.6 Требования к штукатурным смесям, готовым для применения

5.6.1 Водоудерживающая способность штукатурных растворных смесей должна быть не менее 98%;

5.6.2 Время высыхания штукатурных растворных смесей до степени «5» должно составлять не более 55 мин.

5.7 Требования к затвердевшим штукатурным смесям

5.7.1 Предел прочности при сжатии затвердевших смесей должен быть не менее 2,5 МПа.

4.5.2 Прочность сцепления затвердевших смесей с основанием должна быть не менее 0,6 МПа.

4.5.4. Деформации усадки затвердевшего раствора должны быть не более 0,034 %.

4.5.5 Водопоглощение затвердевшей смеси должно составлять не более 16%.

4.5.6 Коэффициент паропроницаемости должен быть не менее 0,055 мг/м×ч×Па.

При необходимости могут быть установлены дополнительные показатели по ГОСТ 4.212, ГОСТ 4.233 или условиям контракта.

5. Правила приемки

5.1 Сухая смесь должна быть принята техническим контролем или лицом, ответственным за качество, предприятия-изготовителя.

5.2 Сухая смесь принимается партиями. За партию принимают количество сухой смеси одного наименования продукции, изготовленной в течение одной смены из материалов одного вида и качества по одной рецептуре.

5.3 Приемку смесей осуществляют по результатам приемо-сдаточных и периодических испытаний.

5.4 Для проведения приемо-сдаточных испытаний отбирается проба в соответствии с требованиями ГОСТ 30515.

5.5 Приемку по показателям: влажность, а также для отделочных смесей: водоудерживающая способность; прочность на сжатие - для затвердевших растворов следует осуществлять по результатам приемо-сдаточных испытаний один раз в смену от каждой партии.

5.6 При получении неудовлетворительных результатов приемо-сдаточных испытаний хотя бы по одному показателю проводят повторные испытания на удвоенном количестве продукции, взятом от той же партии. Результаты повторных испытаний являются окончательными и распространяются на всю партию.

5.7 Партию смеси бракуют, если смесь хотя бы по одному показателю не соответствует требованиям настоящего стандарта.

5.8 При периодических испытаниях приемку производят по показателям: прочность сцепления с основанием (адгезия), водопоглощение, паропроницаемость, время высыхания до степени «5».

5.9 Периодичность испытаний по показателям:

- прочность сцепления с основанием – один раз в месяц;
- водопоглощение, время высыхания до степени «5» - один раз в шесть месяцев;
- коэффициент паропроницаемости – один раз в год.

Перечисленные показатели должны определяться при смене сырья и материалов, состава смесей, технологии изготовления.

5.10 Результаты периодических испытаний по величине прочности сцепления с основанием распространяются на все произведенные партии до получения новых результатов периодических испытаний.

5.11 Радиационно- и санитарно-гигиеническую оценку смесей подтверждают наличием санитарно-эпидемиологического заключения уполномоченных органов государственного санитарного надзора, которое необходимо возобновлять по истечении срока его действия или при изменении качества исходных материалов, состава смесей и технологии изготовления.

5.12 Радиационно-гигиеническую оценку смесей допускается проводить на основании паспортных данных предприятий-поставщиков сырья и материалов, применяемых для изготовления смесей, о содержании естественных радионуклидов в этих материалах.

5.13 Потребитель имеет право проводить контрольную проверку качества смесей в соответствии с требованиями и методами, установленными в настоящем стандарте.

5.14 Каждая партия поставляемой смеси должна сопровождаться документом о качестве, за подписью лица, ответственного за качество, и содержащим:

- наименование предприятия-изготовителя, его товарный знак (при наличии), адрес;

- наименование смеси, ее назначение;

- номер рецептуры, партии;

- дату изготовления смеси;

- дату выдачи документа о качестве;

- условия хранения и срок гарантийного хранения;

- отметку о принятии;

- обозначение нормативного документа, в соответствии с которым изготовлена сухая строительная смесь.

5.15 При экспортно-импортных операциях содержание документа о качестве уточняется в договоре на поставку сухой смеси.

6. Методы испытаний

6.1 Материалы для приготовления сухих смесей испытывают в соответствии с требованиями нормативных или технических документов на эти материалы.

6.2 Методы испытаний материалов, применяемых для приготовления сухих смесей, должны быть указаны в технологической документации на приготовление сухой смеси.

6.3 Пробы сухих смесей для проведения испытаний отбирают в соответствии с ГОСТ 31356.

6.4 Насыпную плотность определяют по ГОСТ 8735.

6.5 Подвижность растворной смеси определяют по погружению конуса Пк по ГОСТ 5802.

6.6 Время высыхания определяют по ГОСТ 19007

6.7 Водоудерживающую способность растворяемых смесей определяют по ГОСТ 5802 путем испытания уложенной на промокательную бумагу растворимой смеси толщиной 12 мм.

6.8 Прочность на сжатие определяют по ГОСТ 5802.

6.9 Водопоглощение при полном погружении в воду образцов затвердевших растворяемых смесей определяют по ГОСТ 5802.

6.10 Прочность сцепления затвердевших растворов с основанием определяют в соответствии с приложением А настоящего стандарта.

6.12 Паропроницаемость следует определять по величине сопротивления паропроницанию по ГОСТ 25898-2012.

6.14 Эффективность применяемых добавок определяют по ГОСТ 30459.

7. Маркировка

Маркировка смесей должна производиться несмываемой краской непосредственно на упаковку или ярлык, вкладываемый в упаковку.

Маркировка должна содержать:

– наименование предприятия-изготовителя, его товарный знак (при наличии), адрес;

– наименование и обозначение смеси;

– инструкцию по применению;

– условия хранения;

– срок гарантийного хранения;

– дату изготовления;

– массу нетто, кг;

– номер партии;

– отметку о принятии лица, ответственного за качество;

– обозначение настоящего стандарта.

8. Требования безопасности и охраны окружающей среды

8.1. Сухие смеси пожаро-, взрывобезопасны, нерадиоактивны, относятся к веществам IV класса опасности в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.007.

8.2. Помещение, в котором изготавливаются сухие смеси, должно быть оснащено приточно-вытяжной вентиляцией с механическим побуждением, в соответствии со СНиП 2.04-05-91 и ГОСТ 12.4.021.

8.3. Работники, занятые в производстве сухих смесей, должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.034-2001, в соответствии с «Типовыми отраслевыми нормами выдачи средств индивидуальной защиты работникам промышленности строительных материалов»

8.4. Предельно допустимая концентрация пыли в воздухе рабочей зоны должна соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.005–88 и составлять не более 4 мг/м³.

8.5. Санитарно- и радиационно-гигиеническую безопасность применения смесей устанавливают на основании санитарно-эпидемиологического заключения уполномоченных органов государственного санитарного надзора и оценивают по безопасности смесей или их составляющих.

8.6. Безопасность минеральных составляющих смесей (известы, заполнителей, наполнителей) оценивают по содержанию радиоактивных веществ, а химических добавок – по их санитарно-гигиеническим характеристикам.

8.7. Смеси не должны выделять во внешнюю среду вредные химические вещества в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК), утвержденные органами здравоохранения.

8.8. Запрещается сбрасывать сухие смеси, а также отходы от промывки оборудования в водоемы санитарно-бытового использования и канализацию.

8.9. Отходы производства образуются в ходе технологического процесса и сосредотачиваются на площадке, где собираются и помещаются в тару:

– третий класс – в бумажные мешки;

– четвертый класс – собираются в виде конуса, откуда автпогрузчиком перегружаются в автотранспорт и доставляются на полигон захоронения.

8.10. Во избежание пыления сверху отходы следует закрывать брезентом или полиэтиленовой пленкой по ГОСТ 10354.

8.11. Транспортировка промышленных отходов на полигон производится транспортом предприятия в соответствии с «Инструкцией о порядке перевозки опасных грузов автомобильным транспортом».

8.12. Все работы, связанные с загрузкой, транспортировкой и выгрузкой и захоронением отходов, должны быть механизированы и герметизированы.

8.13. Транспортирование отходов следует производить в специально оборудованном транспорте, исключающем возможность потерь по пути следования и загрязнения окружающей среды, а также обеспечивать удобство при перегрузке.

8.14. При перегрузке твердых и пылевидных отходов необходимо самостоятельное устройство или тара с захватными приспособлениями для загрузки автокранами, работающими на полигоне.

8.15. При работе с пылевидными отходами необходимо их увлажнение на всех этапах: при погрузке, транспортировании, выгрузке и разравнивании.

9. Упаковка

9.1. Упаковка смесей должна производиться в многослойные бумажные мешки из крафт-бумаги или с полиэтиленовым вкладышем массой 10, 25, 40 и 50 кг, полиэтиленовые пакеты массой 5, 10, 25 кг, высокопрочные полимерные пакеты типа «биг-беги» массой 500, 1000 кг.

9.2. Упаковочная тара должна соответствовать требованиям нормативной документации на конкретные виды тары.

9.3. Сухие смеси, упакованные в мешки и пакеты, укладываются на деревянные поддоны ровными рядами общим весом не более 1500 кг на один поддон, поддоны должны соответствовать требованиям ГОСТ 9078.

9.4. Упаковка смесей должна обеспечивать защиту от доступа влаги к смесям из окружающего воздуха и исключать высыпание смесей при транспортировании и хранении.

10. Транспортирование и хранение

10.1. Упакованные сухие смеси перевозят транспортными пакетами автомобильным, железнодорожным и другими видами транспорта в соответствии с правилами перевозки и крепления грузов, действующими на транспорте конкретного вида, и инструкцией предприятия-изготовителя.

10.2. Применяемые средства транспортирования сухих строительных смесей должны исключать возможность попадания атмосферных осадков, а также обеспечивать защиту упаковки от механического повреждения и нарушения целостности.

10.3. Сухие смеси должны храниться в упаковке предприятия-изготовителя, в сухих помещениях с влажностью воздуха не более 70%, при температуре не ниже +5° С в условиях, обеспечивающих сохранность упаковки и предохранение от увлажнения.

10.4. При хранении мешки с сухими смесями следует укладывать на деревянные поддоны на расстоянии 15 см от земли в ряды по высоте не более 1,8 м, располагая мешки в ряду плотно один возле другого при обеспечении подхода к ним.

11. Гарантии изготовителя

11.1. Изготовитель гарантирует соответствие сухих строительных смесей требованиям настоящего стандарта при соблюдении потребителем условий транспортирования, хранения и применения.

11.2. Гарантийный срок хранения сухих смесей составляет 12 месяцев со дня изготовления.

11.3. По истечении гарантийного срока хранения сухая строительная смесь должна быть проверена на соответствие требованиям настоящего стандарта. В случае соответствия требованиям стандарта сухая строительная смесь может быть использована по назначению.

Ключевые слова: смеси сухие, наполнитель, предел прочности при сжатии, водопоглощение, прочность сцепления, упаковка, маркировка, приемка, методы контроля, транспортирование, хранение, область применения.
